

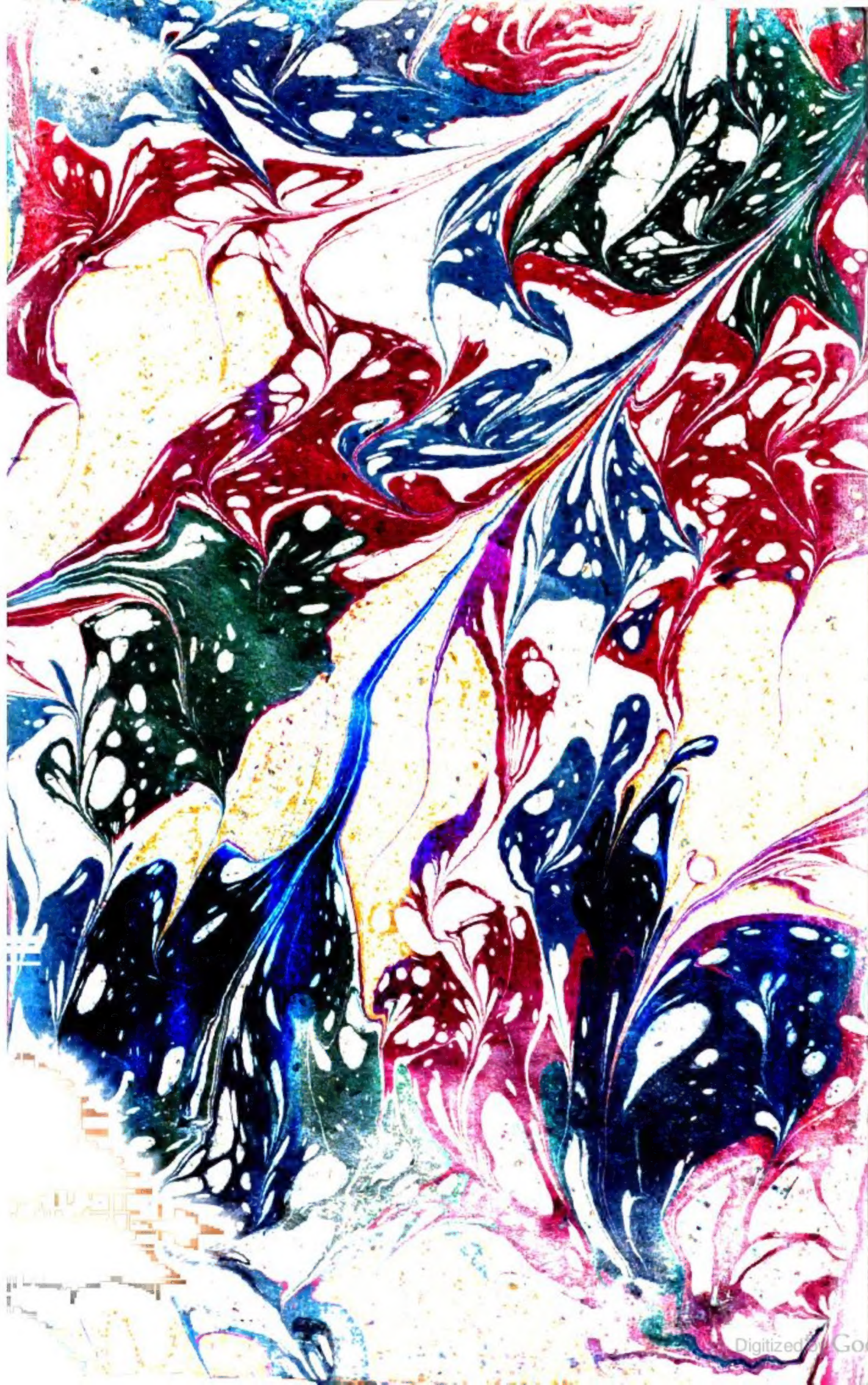
MENTEM ALIT ET EXCOLIT



K.K. HOFBIBLIOTHEK
ÖSTERR. NATIONALBIBLIOTHEK

*48.R.48





117 (17)

TRAITÉ DU NAVIRE,

DE SA CONSTRUCTION,
ET DE SES MOUVEMENTS.

*Par M. BOUGUER, de l'Académie Royale des Sciences,
ci-devant Hydrographe du Roy au Port du Croisic
& au Havre de Grace.*



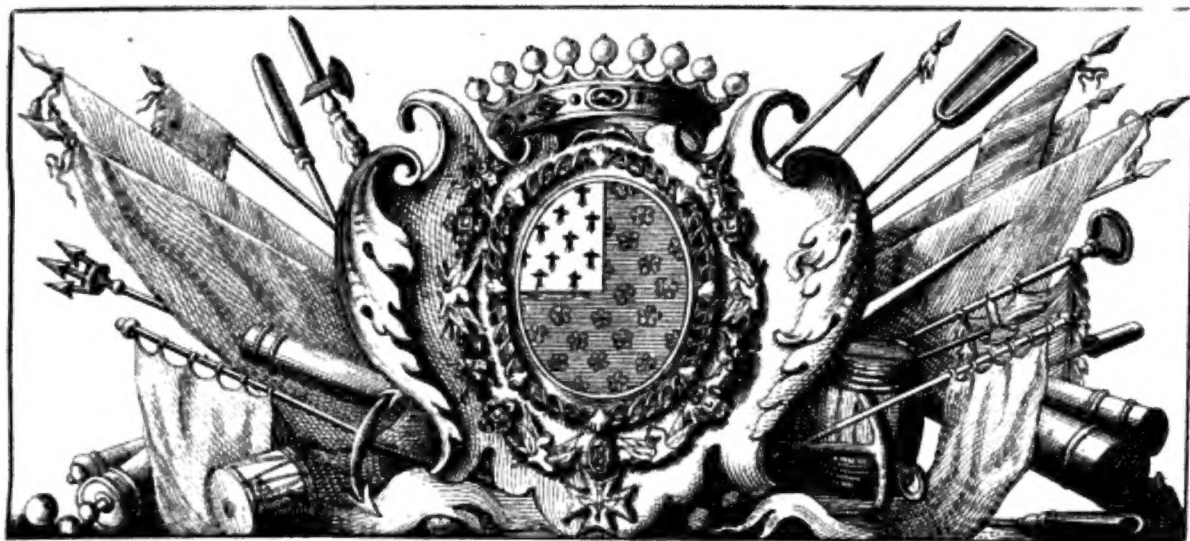
A PARIS, QUAY DES AUGUSTINS.

Chez JOMBERT, Libraire du Roy pour l'Artillerie & le Génie,
au coin de la rue Gille-Cœur, à l'Image Notre-Dame.

M. DCC. XLVI.

AVEC APPROBATION ET PRIVILEGE DU ROY.





A

**MONSEIGNEUR
LE COMTE
DE MAUREPAS,**

Ministre & Secrétaire d'Etat de la Marine.



ONSEIGNEUR.

*La protection dont vous honorez les
Savans , vous donne de vrais droits sur*
a ij

tous leurs Ouvrages , & leur impose en même tems la loi de s'appliquer à les rendre dignes de vous être présentés. Le Public en recueille le fruit ; & sçait combien il en est redevable à la faveur d'un Ministre éclairé , qui au milieu même des guerres dont l'Europe est agitée , n'a cessé d'animer les Sciences par ses regards , & d'en hâter les progrès par ces Entreprises fameuses , qui seront des monumens éternels de la sagesse de ses vûes , & qui feront l'admiration de la postérité.

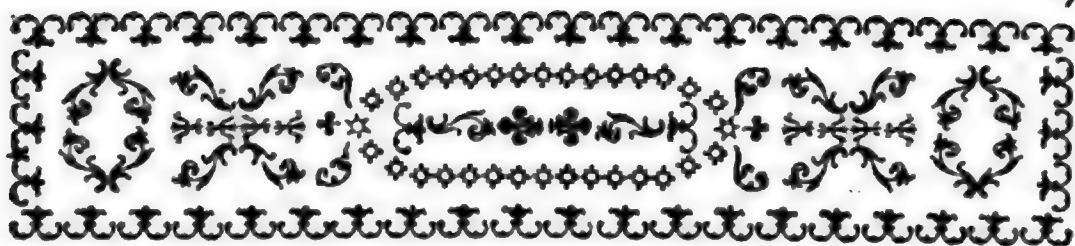
VOUS avez voulu, MONSEIGNEUR, que j'eusse quelque part à la Commission honorable d'exécuter , sous l'Equateur , une petite partie de ces vastes projets. Pendant qu'au Pérou je me livrois à cette occupation , en ne négligeant rien pour remplir vos

ordres , j'ai profité de tous les momens dont il m'a été permis de disposer , pour travailler à la composition de ce *Traité sur la Construction des Vaisseaux & la Théorie de leur Manœuvre*. Le désir que j'avois de vous l'offrir , m'a soutenu contre des difficultés extrêmes , qui venoient tant de la nature du sujet très-compliqué par lui-même , que de la situation où je me trouvois alors ; & à peine le Livre fut-il achevé , que j'eus l'honneur de vous écrire , pour vous supplier d'agréer qu'il parût sous vos auspices. La consécration vous en a été faite , MONSEIGNEUR , d'une des extrémités de la Terre ; puisse cette circonstance donner quelque mérite à mon hommage ! Si cet essai de mon zèle , pour perfectionner la Navigation , n'a pas tout le succès que j'en attens , il me procure au

moins une occasion qui m'est infiniment précieuse , de rendre publique la juste & vive reconnoissance que je ressens pour tous les bienfaits dont vous m'avez comblé. Je suis avec un profond respect ,

MONSEIGNEUR,

Votre très-humble &
très-obéissant serviteur ,
B O U G U E R.



P R E F A C E.

IL n'étoit guère possible que l'Architecture navale , compliquée comme elle l'est par la multitude des diverses connoissances qu'elle suppose , fit des progrès aussi rapides que les autres parties de la Marine qui sont incomparablement plus simples. Il falloit non-seulement que les diverses Théories sur le mouvement dont elle dépend , & dont l'époque est assez recente , fussent portées plus loin , il étoit encore nécessaire que l'Analyse même & les méthodes géométriques qui devoient servir à résoudre les grandes difficultés qui lui sont propres , parvinssent elles-mêmes à un degré de perfection qu'il n'y a pas longtemps qu'elles ont acquis. Aucune matiere ne demandoit davantage à être éclairée de la lumière des Mathématiques ; & il est certain qu'aucune n'en a été plus privée jusques à présent. Rebutés à la vûe des premiers obstacles , les Marins cessèrent trop tôt de faire de nouveaux efforts ; & ils prirent un parti qui ne pouvoit être dicté que par le desespoir , celui de se livrer à la Pratique la plus imparfaite , en s'interdisant tout secours de la part de la Théorie. On avoit un exemple sous les yeux , & on ne voulut y faire aucune attention : On ne considéra point que quoique l'Architecture militaire soit extrêmement plus facile , rien ne s'est exécuté de tout tems à son égard , que par la direction de la Géométrie & des Mécaniques.

IL suffit cependant de jeter les yeux sur les tentatives qui ont été faites sur la Construction , pour reconnoître , que soit parce qu'elles ont été trop limitées , soit par le défaut de quelques autres conditions essentielles , elles n'ont jamais été d'une nature à faire desespérer du succès. Nous ne pouvons mettre qu'entre ces essais absolument hazardés , celui de Pierre Jansse de Horne , qui crut au commencement de l'autre siècle , avoir saisi l'idée archétype des Vaisseaux parfaits , en empruntant les dimensions de l'Arche de Noé. Cet homme , dont nous devons louer au moins les bonnes intentions , ne remarquoit pas que l'Arche , bien loin d'être destinée à naviger avec vitesse , ne devoit servir qu'à soutenir un grand poids presque en repos sur les eaux du Déluge. Il lui restoit outre cela les dimensions des voiles à régler , lors qu'abandonné à ses propres idées , son modèle lui manquoit dans le plus grand besoin : malheureusement le Navire de Noé étoit sans mâture ; & celle qu'il falloit que Jansse disposât de son chef , n'ayant pas de son propre aveu le même degré d'autorité que le reste , son entreprise pouvoit échouer par cet endroit. On a fait dans d'autres tems quelques autres tentatives avec aussi peu de connoissance , & qui ne pouvoient pas mieux réussir.

IL semble que si l'Architecture navale devoit se perfectionner , c'étoit dans les conférences qui se tinrent à Paris vers 1681 , où assistoient , avec plusieurs Constructeurs habiles , plusieurs Officiers fameux , comme M. le Marquis du Quesne & M. le Chevalier Renau , qui peu d'années après publiâ un Livre sur la Théorie de la Manœuvre. Il résulta effectivement de ces conférences un avantage considérable pour la Marine. On fixa entre les principales dimensions des Navires , ces mêmes proportions qu'on observe

serve encore tous les jours, lesquelles se trouvent dans différens Livres & qui sont autorisées par l'Ordonnance des Arsenaux de 1689. Mais ce qui est infiniment préférable, M. Renau y communiqua une méthode réglée de former les Plans ou Profils des Navires, en assujettissant assez toutes les parties les unes aux autres, pour rendre leur figure plus uniforme ou plus simétrique: au lieu que les pratiques qu'on avoit suivies jusqu'alors, abandonnoient la disposition de presque tout l'ouvrage au hazard ou au caprice de l'Ouvrier.

IL est vrai qu'on se contenta dans ces Assemblées d'éfleurer à peine le sujet: on s'arrêta à un examen trop abstrait de la seule forme extérieure des Navires. On les considéra comme des corps géométriques, dont on croyoit déjà sçavoir à peu près la figure, & dont il ne s'agissoit que de former les contours avec plus de facilité ou plus d'élégance. Il ne fut nullement question d'entreprendre le travail aussi long que pénible, de les traiter comme des corps physiques & hétérogenes; & si on le sentit, on n'osa pas l'avouer, que toutes les parties du Vaisseau ont entr'elles des rapports exacts & secrets, qu'il n'appartient pas à la Géométrie pure de déterminer, mais qui sont du ressort de la Physique ou de la Mécanique. C'est au moins ce qu'on peut inférer du récit succinct qu'en fait M. du Hamel dans son Histoire de l'Académie, où il se contente de nous apprendre, que M. Renau formoit les courbures des Navires par le moyen d'une Section conique. Si on préféreroit ces lignes courbes, ce n'est pas qu'on eût découvert qu'elles jouissoient de quelques avantages particuliers qui les rendissent plus propres à cet usage: on ne les employoit que parce qu'elles étoient plus connues ou plus faciles à décrire; elles se présentoient les premières.

b

ENFIN le P. Hoste , Professeur Royal à Toulon , qui n'étoit pas moins homme de Mer qu'habile Mathématicien , est l'Auteur qui a fait des efforts dont on pouvoit naturellement attendre le plus , & dont nous connoissons en même tems toutes les vûes particulieres. Il donna au Public en 1697 un assez gros Livre sous le titre de *Théorie de la construction des Vaisseaux*. Nous ne faisons pas ici mention du Traité de N. Witsfen , qui s'est fait un si grand nom en Hollande ; car quoique cet Ouvrage soit excellent à certains égards , & que même les Etats Généraux en le suprimant ayent paru en être jaloux , il s'en falloit beaucoup que l'Architecture navale ne fût parvenue alors au point où l'expérience seule la portée depuis. Outre cela Witsfen , qui ne se proposoit pas moins de parler de la Navigation des Anciens que de celle des Modernes , consideroit son sujet dans un point de vûe trop éloigné , pour discerner les défauts des Méthodes qui regnoient de son tems. Le savant Jésuite au contraire en sentit toutes les imperfections : il vit bien qu'il ne suffisoit pas de fixer les regles ordinaires ou de les exprimer par des pratiques de Géométrie , comme le faisoit M. Renau ; puisqu'on les laissoit telles qu'elles étoient , sans en changer la nature. Le Traité de la Théorie de la construction dont il s'agit est à la suite de celui des évolutions Navales , Ouvrage original que les Officiers de Marine ne sauroient trop consulter , puisqu'il contient la Tactique des Escadres & des Armées Navales ; Science nécessaire aux Généraux & à tous ceux qui se trouvent chargés de la conduite des Flottes.

UN incident qui ne devoit que contribuer , ce semble , à rendre plus parfait le Traité de la Théorie de la Construction , produisit par un malheur qu'on n'eût pas pû pré-

voir un effet tout contraire. L'Auteur avoit réussi quelques années auparavant à composer un *Traité de manœuvre particuliere* *, qui conserve encore actuellement presque tout son prix, quoi qu'il soit fondé en partie sur les mêmes principes que celui de M. le Chevalier Renau. Ils avoient l'un & l'autre puisé ces principes dans le P. Pardies, qui s'étoit laissé séduire par des raisonnemens qui n'étoient que plausibles, lorsqu'il avoit tâché le premier, dans son discours sur les forces mouvantes, d'expliquer les particularités des mouvemens des Vaisseaux. On sçait l'histoire de la longue contestation qui s'agita sur cette matiere, dont les pieces se trouvent dans les Journaux des Sçavans & ailleurs. M. Hughens la commença heureusement; mais sans avoir la satisfaction de l'achever; & elle ne s'est enfin terminée que de notre tems, lorsque M. Bernoulli a publié son excellent essai d'une nouvelle Théorie de la manœuvre, qui n'a plus laissé lieu à de nouvelles disputes.

* Ce Traité est le dernier du recueil des *Traités de Mathématiques*, imprimé à Lyon en 1692.

LE P. Hoste, quoiqu'il fût intéressé dans cette contestation, n'y prit cependant aucune part. Il étoit tombé dans les mêmes paralogismes que M. Renau; la conformité n'étoit que trop entiere, malgré ce qu'on a avancé depuis avec une injustice qui n'a pû être commise que par quelqu'un qui ignoroit totalement ces matieres, que M. Bernoulli devoit faire honneur au P. Hoste, des lumieres qu'il en avoit pû tirer. Comme si ce célèbre Mathématicien s'étoit trouvé dans le cas d'en emprunter; ou comme s'il étoit ordinaire lorsqu'on se propose de réfuter un Livre, d'en consulter quelqu'autre qui pèche précisément par les mêmes endroits. Nous ne saurions malgré cela en interpretant le silence du Savant Jésuite, assurer s'il se rendit à la force de toutes les raisons de M. Hughens: il est seulement certain qu'il craignit beaucoup trop de s'être

trompé ; puisqu'il aima mieux convenir que les principes qu'il avoit employés étoient erronnés , que de réformer les fausses conséquences qu'il en avoit tirées. Il changea d'avis sur les loix mêmes que les fluides observent dans leur impulsion ; il prétendit que leur action étoit simplement proportionnelle à leur vitesse , & au sinus de l'angle d'incidence que forme leur direction avec la surface frappée ; accusant mal à propos tous les Mathématiciens de commettre un double emploi , lors qu'au lieu de considérer ces rapports simples , ils s'accordent unanimement à en prendre les quarrés. Ces mécomptes , joints à quelques autres , furent une nouvelle source de méprises dans son dernier ouvrage , & nuisent à la plûpart des discussions qu'il renferme. La vérité m'oblige encore d'ajouter , malgré les égards qu'on doit avoir pour la mémoire d'un Auteur qui en mérite par tant d'endroits , qu'outre qu'il a obmis l'examen des Problèmes les plus importants , il n'en est peut-être pas un seul qu'il ait traité dans toute sa complication.

IL lui est arrivé , comme à plusieurs autres Géomètres qui ont quelquefois jetté les yeux sur des points particuliers de cette matiere , de négliger quelques conditions nécessaires ou de faire abstraction de circonstances essentielles. Ils sont parvenus à la solution de nouvelles questions qui nous enrichissent , il est vrai , en augmentant le domaine des Sciences : mais comme ces questions sont trop limitées , & qu'elles ne sortent pas des termes des vérités purement hypothétiques , elles n'ont réellement aucune application dans la Marine , qui ne se satisfait pas d'hypothèses ou de simples suppositions. Le même inconvenient n'a que trop lieu dans d'autres cas ; ce n'est même que parce qu'il est trop ordinaire , qu'on a vû s'introduire

cette distinction qui seroit si étrange , si elle étoit bien fondée , qu'une proposition peut être vraie dans la Théorie , & fautive en même tems dans la Pratique. A peine est-il en effet une seule question de celles qui sont mêlées de Physique , qui soit résolue en toute rigueur , malgré les fréquentes applications qu'on a faites , comme à l'envi , dans ces derniers tems de l'Analyse moderne. On se permet toujours quelques adoucissmens , on écarte quelquefois avec adresse les particularités qui rendroient la discussion trop épineuse ; & il ne faut pas s'étonner après cela , si l'expérience ne répond pas à tout ce qu'on s'étoit promis. Mais qu'on ne se dissimule aucune circonstance , qu'on tente de résoudre les Problèmes dans toute leur difficulté ; & on verra un continuel accord entre la Théorie & la Pratique ; le contraire impliqueroit contradiction.

IL est fâcheux pour nous d'être obligés d'entrer dans ces détails ; nous ne le faisons qu'à regret. Car nous ne devons pas avoir moins d'obligation aux grands hommes , qui les premiers entreprennent de défricher le vaste champ des Sciences ; quoique par une fatalité qu'il n'est pas toujours possible de vaincre , les matieres compliquées ne se perfectionnent que peu à peu & que par parties. Mais une infinité de trop justes motifs nous imposent la nécessité de disculper la Spéculation des prétendus torts qu'on lui impute tous les jours. On pousse même souvent l'injustice jusqu'à lui reprocher les tentatives imprudentes faites par des personnes , qui au lieu d'être Géomètres , en avoient seulement usurpé le nom. Qu'on dise , si on veut , qu'on n'a pas encore été assez heureux pour tirer des Mathématiques , toutes les lumières dont on a besoin pour la Marine ; différens exemples ne le prouvent que trop ; mais qu'on convienne en même tems qu'il n'est pas possible

qu'une science qui est toute occupée du soin de peser , de mesurer , & de comparer les grandeurs , ne soit de la dernière utilité , pourvû qu'on en sache faire une application légitime dans un sujet où il s'agit de régler les unes sur les autres , un si grand nombre de parties , & de mettre l'équilibre entre un si grand nombre de différentes forces. C'est ce qu'on n'eût pas tardé à éprouver par une heureuse expérience , si on eût travaillé davantage à mettre la Géométrie en crédit ; & qu'on se fût efforcé en la faisant sortir de l'enceinte de ses spéculations , d'en étendre sérieusement les usages.

Après ce que j'ai dit du P. Hoste , on ne doit plus s'étonner si malgré son habileté , il réussit si peu dans la construction d'une Frégate dont il se chargea , pour justifier , s'il se pouvoit , ses nouvelles idées contre M. de Tourville , qui ne se contentant pas de se déclarer le Protecteur des regles vulgaires , voulut lui-même les mettre en exécution. M. de Tourville assez satisfait de sauver l'honneur des pratiques anciennes , & se bornant à un succès limité & ordinaire , étoit comme sûr de l'obtenir : il en avoit pour garant , ce nombre infini de Navires qui sortent continuellement d'entre les mains des Constructeurs. D'ailleurs il pouvoit compter qu'on ne lui refuseroit aucune espece de secours ; son entreprise étoit regardée comme une affaire générale , chacun y prenoit intérêt. Le P. Hoste au contraire abandonné à lui seul , privé de tout conseil ou n'en recevant que de très-suspect , ayant contre lui trop de gens qui craignoient , si on l'ose dire , de voir perfectionner leur art ; ce Pere obligé en même tems de se frayer un chemin tout nouveau , sans être aidé par aucune tentative précédente , & prévenu enfin , comme nous en sommes convenus , de principes peu conformes à la vraie Mécanique ,

ne pouvoit produire qu'un ouvrage informe à tous égards. Qu'on considere la chose de tous les côtés, ce nouveau genre de dispute lui étoit defavantageux. On fut comme offensé que son Navire fût si plat par dessous & qu'il eût si peu de profondeur ; ce qui le rendoit effectivement sujet à une grande déviation dans les routes obliques & l'exposoit à plusieurs autres inconveniens. Mais aussi on ne se prêta à rien , on n'eut aucune indulgence pour le Constructeur Géomètre. On lui refusa même impitoyablement les louanges les plus dûes à son zele & à la hardiesse de son dessein ; bien loin de reconnoître qu'il y avoit plus de vraie gloire à échouer comme il le faisoit , qu'à réussir comme son concurrent. On célébra beaucoup trop la victoire de ce dernier, on la fit sonner très-haut ; quoiqu'elle fût d'autant plus foible , que M. le Maréchal de de Tourville , fameux par des triomphes plus réels & d'un autre genre , ne pouvoit rien s'attribuer des succès de celui-ci. Le Lecteur juge cependant assez , vû toutes les circonstances , qu'il n'étoit pas possible que les pratiques ordinaires , qu'on croyoit si bien vangées , n'en parussent mieux établies. Il devint si peu permis d'y rien changer , que la moindre innovation qu'on eût voulu y introduire , eût été reputée téméraire ou dangereuse ; l'expérience , quoiqu'elle ne prouvât rien , avoit pleinement décidé.

LA construction restant de cette sorte dans le même état , se trouva renfermée dans ses pratiques grossieres , & a outre cela été traitée d'une maniere extrêmement imparfaite dans quelques Ecrits que nous en avons. Soit défiance de la part des Constructeurs , ou dessein formé de tenir leurs maximes secretes pour s'en prévaloir contre leurs concurrents , ils déclarent bien les principales dimensions qu'ils donnent à leurs Vaisseaux ; mais nous n'avons aucun Li-

vre qui entre dans le détail de la figure qu'on leur donne actuellement , si on excepte un seul Manuscrit dont nous avons eu occasion de parler , qui n'est qu'une simple ébauche , mais dont les copies se sont assez répandues dans la Marine. M. de Pulmi , Auteur de cet Ouvrage , pouvoit faire de grands progrès , si sa santé le lui eût permis : car il étoit parfaitement instruit de toutes les pratiques des Constructeurs ; il pouvoit y porter le flambeau de la Géométrie nouvelle dans laquelle il étoit initié ; & la Cour n'avoit pas tardé à l'y encourager , en le prévenant par ses bienfaits.

ON sent comme nous , combien ce silence des gens du métier est nuisible : on voit assez qu'il empêche de profiter des connoissances de fait qu'ils ont au moins dû acquérir par leur long usage. Ils disputent volontiers & avec chaleur sur des choses de peu de conséquence ; pendant que l'essentiel de la Construction reste enseveli sous d'épaisses ténèbres : au lieu que si chacun communiquoit ce que lui a appris l'expérience ; si on se faisoit réciproquement part de ses observations , comme on le fait dans toutes les autres matieres , où l'on s'enrichit mutuellement des vûes les uns des autres , on ne tarderoit pas à éprouver le fruit considérable qui naîtroit de cette heureuse communication. Les Constructeurs au contraire , comme s'ils étoient plus touchés de leurs intérêts personnels , que de la perfection de leur art , sont continuellement sur leur garde de crainte qu'on ne les pénétre : ils observent même un secret si profond , que leurs pratiques particulieres , quoiqu'elles ne soient toujours que quelques legeres modifications des maximes générales , constituent comme un héritage tout extraordinaire , qui ne se transmet presque jamais que de pere en fils. Il faut cependant l'avouer encore ;

core ; le grand mal vient moins du mystere qu'on a fait mal à propos des préceptes de cet art , que de leur limitation ou de leur imperfection ; & c'est peut-être ce qu'ont assez senti les Constructeurs , pour qu'une mauvaise honte ou la crainte de se déceler en nous laissant voir leur extrême indigence , les porte à user d'une continuelle reserve à notre égard.

Il suffit de fréquenter les Ports de Mer , ou de s'informer de ce qui se passe à ce sujet chez toutes les Nations qui cultivent la Marine , pour s'assurer que nous ne sommes pas coupables de l'exagération la plus legere. On verra qu'on déferé tous les jours dans des circonstances très-importantes au simple raionnement , à celui qui est le plus sujet à tromper : on change la forme des Navires par leurs hauts , on leur ajoute un nouveau pont ou on le retranche , on altere aussi totalement la figure de leur carène , & on consent à faire tous ces changemens sans sçavoir quel en sera l'effet immédiat , ou celui qui doit se manifester dans le Port même ; pendant qu'on pourroit se déterminer d'une maniere aussi précise qu'infailible , en employant les moindres connoissances de Géométrie & les plus simples opérations d'Arithmétique. Il ne faut pas douter que la Postérité ne s'étonne un jour de la conduite qu'on a tenue & qu'on tient encore à cet égard , dans un siècle aussi éclairé que le nôtre.

D'AUTRES fois on veut faire prévaloir une certaine qualité dans la construction ; on observe pour cela avec plus de rigueur les maximes les plus généralement approuvées ; & on produit un effet tout contraire à celui qu'on se proposoit. Démonstration incontestable , que le grand nombre de circonstances dont ce sujet est surchargé , est cause qu'on ne sçait de laquelle dépend le bon ou le mauvais

succès , & qu'on n'a pas le secret de les démêler. Nous ne disons pas encore assez : car il n'est que trop ordinaire qu'on n'évite le péril de l'expérience qu'en ne s'y exposant pas. Presque toutes les Nations de l'Europe peuvent en rendre témoignage : il sort de tems en tems de leurs Chantiers , & non de leurs Ports , des Navires dont l'imperfection n'est point équivoque , & qui ne donnent pas même lieu à la triste consolation , de dire qu'ils se sont mal comportés en Mer.

IL sert très-peu , ou plutôt il devient inutile de recourir à l'avis de plusieurs Constructeurs ; on ne fait autre chose que se livrer à de plus grandes incertitudes. Il arrive toujours qu'ils pensent différemment les uns des autres ; & néanmoins chacun allegue également en sa faveur sa propre pratique ou l'ennuyeux & long dénombrement des Navires qu'il a déjà construits. Comme il leur est impossible de se concilier , parce qu'ils n'ont aucun moyen pour le faire , nul principe commun dont ils conviennent ou dont ils puissent partir , nulle regle , nul indice même pour discerner le vrai , ou pour le faire connoître , ils sont réduits à répéter continuellement les mêmes assertions , au lieu de preuves. On ne peut mieux les comparer qu'à un grand nombre de personnes , qui tout occupées de commerce , ne connoîtroient dans l'échange de leurs marchandises ni l'usage des balances ni celui des mesures. Chaque Constructeur ne peut aussi que persister dans son opinion , ne pouvant ni convaincre son adversaire ni en être convaincu ; ainsi il faut absolument se hâter d'interrompre la dispute , qui à la honte de l'Art , ne manqueroit par de s'échauffer , mais sans devenir plus instructive. Quel parti peut on suivre après cela ? Il faut bien malgré soi imiter ces Juges grossiers , qui incapables de distinguer les circonstances , partagent

tous les différens par la moitié. C'est le dénouement qu'ont ordinairement ces sortes de consultations ; quoiqu'il fût quelquefois très-à-propos , d'embrasser un des avis extrêmes , ou même d'insister & d'aller au-delà ; supposé qu'on fût capable d'agir avec lumière , ou que pour parler , comme il échape quelquefois de le faire aux Marins , *on ne fut pas encore très-éloigné de sçavoir ce que la Mer demande ;* nous nous servons de leurs propres termes.

A I N S I il s'en faut beaucoup , lorsqu'on apprécie les maximes ordinaires , en les mettant à leur juste valeur , qu'on puisse les regarder comme des especes d'arrêtés ou de comptes faits vérifiés par une longue expérience , auxquelles on ne sauroit mieux faire que de se conformer. C'est l'aspect le plus favorable sous lequel on nous les offre quelquefois , en prétendant malgré toutes les raisons contraires & une infinité d'évenemens qui ne parlent que trop , qu'elles sont suffisamment autorisées par l'approbation ou le consentement unanime des gens de Mer. Mais il est certain que plusieurs causes ont empêché dans tous les tems de faire des essais sur des sistêmes de construction très-différens les uns des autres. Il arrive à l'égard de l'Architecture navale , quoique dans un autre sens , ce qu'on voit fréquemment dans les autres parties de Mécanique , où souvent une machine exécutée en petit est un foible garant du succès de la même machine exécutée en grand. Nous disons que c'est dans un sens tout contraire à l'égard de la construction : car il est comme impossible de faire réussir un petit Navire de quelques pieds de longueur , destiné à servir de modèle. C'est pourquoi le Constructeur ne pouvant s'instruire par des essais particuliers & secrets , n'a garde de sacrifier sa réputation & sa fortune à la vaine gloire de faire des découvertes , en s'engageant dans des

épreuves téméraires. Il aime beaucoup mieux ne se proposer qu'une certaine sorte de succès , & en être sûr , en prenant le parti que lui dicte , non pas la timidité , mais plutôt la prudence , de suivre d'une façon servile les sentiers uniques qu'il voit déjà frayés.

IL faut enfin convenir avec le P. Hoste , que la Pratique livrée à elle seule & dénuée de tous les secours de la Théorie , ne peut pas faire découvrir les vraies regles en un pareil sujet. Le Navire est un tout si composé , que chaque changement fait à une seule partie , est le commencement d'une infinité de dispositions ou de combinaisons différentes , dont chacune doit avoir un succès particulier. On ne peut , par exemple , toucher à la largeur de la carène sans se mettre dans la nécessité de changer toutes les autres parties. C'est par cette raison que les expériences qu'on a pû se permettre , sont souvent si contraires , qu'il semble qu'on n'en peut tirer aucune conséquence , ou qu'on en peut inférer de tout opposées. Un changement seroit avantageux , & il ne produit cependant que des effets funestes ; parce qu'on ne va pas saisir dans la multitude tous les autres changemens qu'il exigeroit , ou qui en sont comme des suites. On condamne la première disposition , on croit avoir expérimenté qu'elle est dangereuse : au lieu qu'il est seulement vrai qu'on n'a pas sçû en tirer parti ; faute d'avoir mis entre toutes les autres mesures la correspondance nécessaire.

SI l'expérience ou la Pratique seule avoit pû réussir sur quelque point , c'étoit en réglant les dimensions de la mâture , lors qu'un Vaisseau est *donné*. Il est certain qu'il ne se présente pas de question plus simple dans toute cette matiere : car que le Vaisseau soit bien ou mal construit , qu'il soit destiné à être bon ou mauvais voilier , il est tou-

jours une certaine disposition de mâture qui doit être la meilleure ou la moins mauvaise ; & il est clair qu'on écarte les plus grandes difficultés de la recherche , aussi-tôt qu'on ne se propose pas de toucher au Navire , & que sa forme est déjà déterminée. Mais si on a manqué jusqu'à présent dans la Marine , ce Problème , quoique plus facile ; si on s'est trompé , & même d'une manière grossière , sur le rapport qu'il doit y avoir entre la hauteur des mâts & la grandeur du Navire , que ne faut-il pas penser de toutes les autres parties de la construction , qui ne pourroient se régler que par des tentatives faites avec infiniment plus d'art ? La difficulté est incomparablement plus grande , lors qu'une infinité de différentes dispositions se combinent réellement avec une infinité d'autres , & qu'il faudroit les examiner toutes. Pour chaque distribution de la charge il est une certaine disposition de la mâture qui est la meilleure ; mais il faut sçavoir aussi qu'elle est la meilleure disposition de la charge & sa quantité. Ainsi après avoir donné un certain arrangement au lest & à tout ce qui augmente le poids , il ne suffiroit pas d'envoyer le Navire une infinité de fois en Mer avec des mâtures différentes , il faudroit répéter encore la même chose une infinité d'autres fois , en donnant d'autres dispositions à la charge. Enfin ce ne seroit point assez ; puisque chaque partie du Vaisseau contribue à la perfection du tout , non-seulement la mâture , non-seulement la charge , non-seulement les principales dimensions de la carène , mais aussi toute sa figure , la courbure de ses flancs , la saillie de sa prouë. Et nous le répétons encore , que la perfection dont doit jouir chacune de ces parties , dépend de la relation qu'elle a avec toutes les autres dont la multitude est infinie , & qui doivent être chacune à part également parfaites. Discussion qui enga-

geroit réellement , comme on le voit , dans un nombre d'essais , non pas simplement infini , mais infiniment infini.

IL est donc certain que quoique la Pratique soit d'une extrême nécessité & qu'on ne puisse trop la recommander , elle est cependant d'un usage trop peu étendu , lors qu'on la laisse à elle seule dans la circonstance présente. Sa trop grande limitation est un vice inséparable de sa nature , & qui se fait sentir dans une infinité d'autres rencontres. C'est qu'elle est originairement stérile , c'est qu'elle ne fournit lorsqu'elle est absolument seule , que des connoissances qui n'en produisent point d'autres , ou qui restent toujours renfermées dans les premières bornes qu'on leur a données. Comme le Praticien , si on peut s'exprimer de la sorte , ne s'instruit qu'à mesure qu'il se trouve placé dans de nouvelles circonstances , il ne faut rien moins qu'un nouvel événement pour lui procurer quelque degré de connoissance de plus. Il verra l'effet de diverses manœuvres , il éprouvera combien l'action d'une puissance est quelquefois multipliée : mais bien loin de pouvoir résoudre les grands Problèmes que nous venons d'indiquer , il ne sera pas même en état de prononcer avec certitude à l'égard des cas plus simples sur lesquels ses essais ne l'auront pas également instruit. Il ne lui sera pas possible d'avancer un pas de plus , faute de sçavoir ou même de soupçonner que toutes ces actions sont soumises à certaines loix qu'il seroit important de connoître. Qu'on fasse intervenir au contraire les lumières de la Spéculation ; il est vrai , & on ne sçauroit le dire trop de fois , qu'il faudra toujours y joindre les expériences ou ces connoissances de fait dans lesquelles consiste la Pratique ; mais la Théorie s'en servira ensuite comme de principes , elle en tirera des inductions sûres ; & étendant ses vûes à tous les autres

cas, & jusqu'à l'infini, car elle n'est pas arrêtée par les mêmes bornes que la Pratique, elle tiendra effectivement lieu d'une infinité d'autres expériences qu'il n'eût jamais été possible d'exécuter.

ON peut juger sur cet exposé de l'état où étoit il y a quelques années l'Architecture navale; mais depuis on s'est ouvert de nouveaux chemins. Plusieurs Constructeurs que nous pourrions nommer, se sont acquis une grande réputation, & si nous en avions un plus grand nombre, la face des choses seroit absolument différente. Je n'indiquerai pas tout ce qu'ils ont fait pour la perfection de leur Art; il suffit pour justifier ce que j'avance, de citer un seul point, l'avantage qu'ils ont découvert dans l'allongement de leurs Vaisseaux. Une seule circonstance manquée, pouvoit, en empêchant le succès, faire prendre le change comme il étoit arrivé une infinité d'autres fois: mais j'ai sçu qu'on se conformoit à Brest à cette nouvelle observation sous les yeux de M. Ollivier, habile Ingénieur, à peu près dans le même tems qu'au-delà des Mers, & dans un des endroits de la Terre le plus reculé, les Principes théoriques & féconds que je suivois me conduisoient par d'autres routes à cette même remarque. Nous avons obligation de tous ces heureux changemens aux vûes sublimes du Ministre éclairé qui a dans son département la Marine, & qui décidé par le goût qu'il a pour toutes les Sciences, s'en est déclaré le Protecteur. Il a excité les Constructeurs par le plus puissant de tous les motifs; il a mis en honneur leur Profession: & il est certain qu'elle mérite d'en être comblée, aussi-tôt qu'ils l'exerceront avec connoissance de cause; aussi-tôt que supérieurs à leur métier, ils substitueront à leurs pratiques imparfaites des regles lumineuses & précises; aussi-tôt qu'ils ne produiront plus de Plan sans

l'appuyer de calculs justificatifs, dans lesquels chaque propriété que doit avoir le Navire sera discutée & évaluée avec exactitude ; aussi-tôt enfin que la Géométrie & la Physique , prenant la place qu'avoit usurpé le hazard ou le tatonnement , l'Architecture navale fondée sur des principes certains , sera réellement un Art.

Je m'applaudirois beaucoup si ce Traité pouvoit contribuer à un objet si important & si utile. Je n'ai épargné aucune peine pour tâcher de répondre à l'engagement que je prenois , lorsque je me suis déterminé à appliquer à cette matiere le peu que je sçai de Mathématiques. Ce n'est aussi qu'après m'en être occupé très-long-tems que je me suis hasardé de jeter mes remarques sur le papier ; & je ne l'ai fait au Pérou , comme je l'ai dit ailleurs , qu'afin de mieux profiter de l'occasion que je devois avoir ensuite en Mer pendant mon retour , de reconnoître s'il y avoit quelque chose à y changer. C'est en travaillant à ce Livre sur les plus hautes montagnes du Monde que je tâchois de ne pas perdre les semaines & les mois par lesquels il falloit quelquefois acheter un seul instant de beau tems , pour pouvoir vaquer aux opérations actuelles de la mesure de la Terre. Le Livre étoit entierement achevé : il y a même plus de quatre ou cinq ans , comme je l'écrivis alors en France , que me voyant tous les jours à la veille de mon départ de Quito , j'en déposai une copie entre les mains d'une personne sûre , pour servir de duplicata. Enfin j'ai considéré que si mon travail devoit avoir quelque fruit , je ne pouvois trop me hâter de le rendre public , & j'ai cru qu'il étoit bon de le faire précéder la Relation de mon voyage ; ce qui me donneroit en même tems plus de loisir pour mettre en ordre tous les matériaux qui doivent y entrer. Si le Traité que je présente actuellement

forme

forme un assez gros volume , c'est que le sujet est extrêmement vaste ; le Navire considéré dans tous ses différens états , & par rapport à tous ses divers usages. Ce n'est pas assez de se le représenter lorsque chargé d'un poids énorme il est à l'ancre dans une Rade , & exposé , si on le veut , à l'agitation d'une Mer orageuse , il faut principalement l'examiner lorsqu'il fait route , qu'il singe avec vitesse , qu'il double un Cap , qu'il s'éloigne difficilement d'une côte. Cette distinction feroit naturellement le partage de notre Ouvrage ; si ce n'est que nous avons crû devoir ajouter un premier Livre , qui est à certains égards l'extrait des deux autres qu'il précède , & dans lequel nous nous sommes attachés à faire entrer beaucoup de choses de Pratique.

JE ne dissimulerai pas , puisque je puis le dire sur la foy des démonstrations , que je crois avoir réussi à donner des moyens infaillibles pour se décider entre différens Plans proposés pour le même Navire. On sçaura désormais se déterminer sûrement entre les divers avis des Constructeurs ; & la multitude de leurs opinions bien loin d'être nuisible , sera au contraire profitable , puisqu'elle donnera souvent lieu de faire un meilleur choix. J'ai pour ainsi dire , réduit le tout à la mesure ou à la balance , je l'ai rendu une affaire de calcul : mais je ne me suis pas renfermé dans ce seul examen qui seroit quelquefois trop limité ; j'ai tâché de m'élever jusqu'à la considération de toutes les formes possibles de Navires , & de choisir dans cette multitude , quoique infinie. Ainsi un des moindres avantages que pourra avoir mon travail , si je ne me flatte point trop , c'est qu'il ne tiendra qu'au Constructeur de ne plus manquer son ouvrage de cette manière dangereuse qui en causant sa ruine , entraînoit aussi celle du Public : il ne sera plus exposé à la peine & à la honte de rien tenter té-

merairement , il fera toujours en état d'assigner ou de prévoir tout le succès que doit avoir son entreprise : & on sera aussi toujours à portée en vérifiant ses suputations , de voir le fonds qu'on peut faire sur ses promesses. Au surplus , le désir sincere que j'ai de ne commettre d'injustice à l'égard de personne , me fait avouer que j'ai souvent été aidé par les solutions , même imparfaites , qu'on trouve dans divers écrits qui ont raport à ce sujet ; sans compter que quelquefois elles ont été accompagnées de vûes excellentes. Mais j'aurois tort de confondre avec ces divers secours ceux que m'a pû fournir la piece sur la mâturation des Vaisseaux d'un

* M. Camus.

de nos Académiciens * qui n'avoit point vû de Navire lorsqu'il l'écrivoit , & qui a réussi néanmoins à nous donner un ouvrage plein de recherches , & très-différent de beaucoup d'autres qui paroissent de tems en tems sur les matieres de Marine.

IL ne reste plus qu'à dire un mot sur la plus grande difficulté qu'on trouvera à appliquer les nouvelles maximes que nous substituons aux anciennes. Les Constructeurs pour établir celles-ci, s'étoient contentés d'employer les rapports les plus simples & des rapports invariables, s'imaginant mal-à-propos que les parties des Vaisseaux de différentes grandeurs , suivoient toujours exactement les mêmes proportions ; ou plutôt ne portant par leur vûe assez loin pour découvrir d'autres relations , & s'arrêtant à ce qui s'offroit à eux sans la peine d'aucune recherche. On juge assez que toutes les fois que le rapport simple ne doit pas subsister , ou qu'au lieu de faire croître certaines parties proportionnellement, on doit les faire changer selon quelque autre loi , les nouvelles regles ne peuvent manquer de se trouver plus difficiles : & il pourra même arriver que toute personne ne soit pas en état de les appliquer. Il y a sans doute

moins de notre faute en cela , que si écrivant sur l'Architecture militaire , nous ne réussissions pas à nous mettre à la portée des Lecteurs qui n'ont aucun principe de Géométrie. Mais cet inconvenient n'en est plus , aussi-tôt que la construction des Vaisseaux cesse d'être abandonnée à la direction des seuls Ouvriers , & qu'on leur associe dans leur ouvrage des personnes qui sont incomparablement plus instruites. Nous avons d'ailleurs toujours fait en sorte en déduisant nos maximes , qu'on ne fût point obligé en les observant , d'entrer dans les discussions longues & épineuses qui leur servent de fondement. Ainsi il faut bien distinguer ici en fait de difficulté , entre l'application de nos regles & les examens penibles dans lesquels elles nous ont engagés , ou pour les vérifier , ou pour les découvrir.

NOUS eussions souhaité pouvoir éviter même dans cette seconde espece de travail tout usage des calculs algébriques , qui sont presque toujours trop rebutans par l'espece d'obscurité qui en est comme inséparable. Le Lecteur jugera , après avoir murement pesé la chose , si on ne s'est pas trouvé ici plus d'une fois dans le cas où il étoit comme indispensable d'y avoir recours. On peut blâmer ceux d'entre les Géomètres qui employent quelquefois ce secours pour démontrer des vérités si peu reculées , qu'elles sont à leurs pieds & qu'ils y touchent : on n'est point excusable de se servir sans nécessité d'un grand appareil d'instrumens ou de machines pour n'opérer que des choses faciles. L'Algèbre alors avilie par le mauvais usage qu'on en fait , au lieu d'être de tous les moyens le plus propre à suppléer à la limitation de nos facultés , n'est plus que celui d'embrouiller les matieres & d'en interdire l'entrée à plusieurs Lecteurs qui seroient capables de les entendre , si
d ij

elles n'étoient pas énoncées pour eux dans une langue étrangere. Nous avons quelques Livres qui donnent vogue à cet abus par la réputation de leur Auteur : on est réduit à n'y voir la vérité que sous le voile d'énigmes, quoiqu'il s'agisse quelquefois de matieres connues d'ailleurs & déjà traitées avec clarté ; & on est allé jusqu'à vouloir, en troublant l'ordre des choses, nous faire préférer cet emploi des symboles aux connoissances qui naissent du fond même du sujet. Mais de même qu'il n'est pas possible de se passer des lumieres de la Géométrie élémentaire dans une infinité de cas, il est encore plus nécessaire dans d'autres rencontres, lorsque la nature des Problèmes l'exige, de recourir à la haute Géométrie ; malgré ce que disent quelques personnes qui paroissent s'être conjurées contre cette Science supérieure, & qui cherchent, peut-être, à se consoler du peu de progrès qu'elles y ont fait. Comment comparer en effet un grand nombre de quantités ou de conditions qui ne peuvent être représentées que par des courbes d'un genre fort élevé, ou par des équations formées d'un grand nombre de termes ? Vouloir se priver alors du secours nécessaire de l'Algèbre, c'est comme si l'on entreprenoit, sans Rame, sans Voile, & même sans Radeau, de franchir à la nage une vaste Mer. Il suffit enfin pour nous disculper entierement, d'avouer que nous n'avons pas pû faire mieux : quant à l'ordre particulier que nous avons suivi, la Table des Chapitres l'indiquera assez exactement.

Fin de la Préface.

TABLE DES CHAPITRES

CONTENUS DANS CE TRAITÉ.

LIVRE PREMIER.

Idee générale de la Construction , avec diverses remarques sur les regles ordinaires.

PREMIERE SECTION.

Où l'on traite de la figure du Vaisseau & de ses parties intérieures.

CHAPITRE I.	D es différentes especes de Navires ,	page 4
CHAP. II.	Des principales parties du Vaisseau ; & leurs proportions selon les regles ordinaires ,	12
CHAP. III.	Suite du Chapitre précédent , dans laquelle on continue à expliquer les noms & les proportions des principales parties du Vaisseau ,	18
CHAP. IV.	Des différentes pratiques que suivent les Constructeurs pour tracer la coupe des Vaisseaux , faite perpendiculairement à leur longueur dans l'endroit le plus gros ,	27
	Premiere & seconde méthode ,	28 & 29
	Troisième méthode , pour les Navires à plates varangues ,	31
	Quatrième méthode , pour les Navires auxquels on veut donner beaucoup de façons ,	32
CHAP. V.	Méthode de tracer les deux coupes du Vaisseau aux deux extrémités de la quille ; avec la maniere ancienne dont on se servoit des lisses pour achever le Navire ,	34
	De la figure de la coupe de l'arriere ,	ibid.
	De la figure de la coupe de l'avant ,	36

CHAP. VI. Remarques générales sur les lisses , avec le moyen de former l'arrière du Vaisseau , en rendant toutes les coupes verticales faites perpendiculairement à sa longueur , dépendantes de la première & de celle de l'extrémité ,	page 40
CHAP. VII. De la manière de former toute la partie de l'avant du Navire ,	46
CHAP. VIII. Faire en sorte que la courbure entière des lisses depuis la première coupe jusqu'à l'étrave appartienne à la même ligne courbe ,	51
CHAP. IX. De la manière de projeter les diverses coupes du Navire sur toutes sortes de Plans ,	56
CHAP. X. Remarques sur la forme que les règles ordinaires donnent aux Vaisseaux ,	58
CHAP. XI. Suite du Chapitre précédent ; avec la manière de rendre la figure des Vaisseaux plus parfaite ,	64
CHAP. XII. De la manière de mettre les Navires à l'eau ,	73
De la courbure que les Vaisseaux souffrent dans le sens de leur longueur , lorsqu'on les lance à la Mer ,	77

SECONDE SECTION.

Des agreils ou appaux du Navire.

CHAPITRE I. D U gouvernail & du cabestan ,	80
CHAP. II. De la nécessité d'avoir des pompes dans les Vaisseaux & de la manière de les disposer ,	86
CHAP. III. Des ancres & des cables ,	95
CHAP. IV. De la manière dont les rames agissent ,	103
CHAP. V. Des proportions qu'on suit ordinairement dans la mâture des Vaisseaux ,	120
Proportions des mâts inférieurs , & de leur application ,	122
Proportions des mâts supérieurs ,	124
Proportions des vergues ,	124
De la figure qu'on donne aux mâts & aux vergues ,	126

DES CHAPITRES. xxxj

CHAP. VI. Remarques & expériences sur les regles précédentes , avec le moyen de rendre ces regles moins imparfaites ,	127
CHAP. VII. Des principaux cordages qui soutiennent la mâture & qui servent à la manœuvre des voiles ,	138
Maniere de former une échelle pour trouver sur la même figure la longueur des manœuvres pour tous les Vaisseaux ,	143

TROISIÈME SECTION.

De la résistance ou de la force dont toutes les parties du Vaisseau doivent être capables.

CHAPITRE I. D E la résistance absolue des matériaux qui entrent dans la construction ,	147
CHAP. II. Des divers moyens qu'on peut employer pour empêcher les Vaisseaux de s'arquer ,	151
CHAP. III. Où l'on examine si les moyens indiqués dans le Chapitre précédent sont suffisans , pour empêcher le Navire de s'arquer ,	155
CHAP. IV. De la résistance relative des corps solides & de la force qu'il faut donner à diverses parties du Navire ,	161
CHAP. V. De la figure & de la grosseur que doivent avoir les mâts & les vergues ,	171
CHAP. VI. De la résistance des cordages & de la maniere de les rendre plus forts ,	186
CHAP. VII. De la force que doivent avoir différentes manœuvres ,	191



L I V R E S E C O N D.

*Du Vaisseau considéré à flot , mais lorsqu'il ne single pas.*P R E M I E R E S E C T I O N.De la pesanteur du Vaisseau & de la force qu'à l'eau
pour le soutenir.

- CHAPITRE I. **D**E la force qu'à l'eau pour soutenir le Navire en le poussant en haut selon une direction exactement verticale , page 199
- CHAP. II. Trouver la force avec laquelle l'eau pousse le Navire en haut , 206
- Première méthode de mesurer la solidité de la carène , en la considérant comme un ellipsoïde , ibid.
- Seconde méthode de mesurer la carène en la divisant en plusieurs prismes , 208
- Troisième méthode de mesurer la carène en la partageant simplement par tranches , 212
- De l'échelle des solidités ou des pesanteurs des diverses parties de la carène , 215
- CHAP. III. Du changement que reçoit l'enfoncement de la carène lorsqu'on ajoute au Navire quelque partie ou qu'on la retranche , 217
- CHAP. IV. Du Jaugeage des Vaisseaux , & premierement de celui qui se fait en tonneaux d'arrimage ou de volume , 225
- Trouver la grandeur des Vaisseaux en tonneaux d'arrimage , 227
- Maniere de regler le droit d'ancrage , & les autres droits de même espece , 231
- CHAP. V. Du jaugeage des Vaisseaux en tonneaux de poids , 234
- CHAP. VI. Suite du Chapitre précédent : méthode de trouver la pesanteur de la charge , en mesurant la partie de la carène qu'elle

SECONDE SECTION.

De la distribution de la pesanteur du Vaisseau & de la position qu'on doit donner au centre dans lequel se réunit cette pesanteur.

- CHAPITRE I. **M**éthode de trouver le centre de gravité de la carène , dans lequel se réunit la poussée verticale de l'eau , 249
- CHAP. II. De la plus grande hauteur à laquelle on peut mettre le centre de gravité du Vaisseau , 254
- CHAP. III. Méthode de déterminer le métacentre ou le terme de la plus grande hauteur à laquelle on peut mettre le centre de gravité du Vaisseau , 258
- CHAP. IV. Application des formules précédentes à quelques figures , & premièrement au Navire formé en parallépipède rectangle , 265
- Déterminer le métacentre , lorsque toutes les coupes de la carène faites perpendiculairement à sa longueur , sont des triangles , 266
- Trouver le métacentre , lorsque le Navire est un ellipsoïde , 267
- CHAP. V. Recherches plus étendues sur les métacentre & sur la ligne courbe que forment ces points , lorsque le Navire s'incline , 269
- CHAP. VI. Reconnoître si dans les Vaisseaux qu'on se propose de construire , le centre de gravité sera effectivement au-dessous du métacentre ou du terme qu'on vient de déterminer , 275
- De la pesanteur de toutes les parties de la Frégate du Roy , nommée la Gazelle , 276
- Détermination du centre de gravité de la même Frégate , 280
- De la situation du centre de gravité dans les grands & dans les petits Navires , & de la sûreté qu'en reçoit la navigation , 283
- CHAP. VII. Du changement qu'aportent à la situation du mé-

<i>l'acentre les divers changemens qu'on peut faire à la carène ,</i>	
<i>page</i>	287
CHAP. VIII. <i>Des changemens que reçoit la force qu'à le Navire pour rester de niveau , lorsqu'on change sa longueur ,</i>	292
<i>Du changement que reçoit la stabilité des corps flottans , lorsqu'on change leur profondeur ,</i>	294
<i>Du changement que reçoit la stabilité des corps flottans , lorsqu'on change leur largeur ,</i>	298
<i>Du changement que reçoit la stabilité du Vaisseau lorsqu'on se sert de lest d'une pesanteur spécifique différente ,</i>	301
CHAP. IX. <i>Examen plus particulier du changement que reçoit la stabilité du Navire , lorsqu'on ajoute à sa carène ou qu'on en retranche quelque partie par en bas ,</i>	302
CHAP. X. <i>Déterminer la moindre profondeur qu'on peut donner à la carène des Vaisseaux qui sont très-changés par en haut , pour que leur centre de gravité soit effectivement au-dessous du métacentre ,</i>	310
<i>Solution analytique ,</i>	312
<i>Construction géométrique du même Problème ,</i>	316
CHAP. XI. <i>Trouver par une expérience très-simple dans les Vaisseaux déjà construits , si le centre de gravité a la situation qu'on se proposoit de lui donner ,</i>	319

TROISIÈME SECTION.

De la distribution de la pesanteur du Vaisseau par rapport au mouvement du roulis.

CHAPITRE I. D <i>U point autour duquel le Vaisseau fait les balancemens qu'on nomme roulis , & de la part qu'a la pesanteur dans ces balancemens ,</i>	325
CHAP. II. <i>Connoissant la figure du Vaisseau & la distribution de ses parties , trouver la durée de ses oscillations ou de ses balancemens dans le roulis ,</i>	333
CHAP. III. <i>Trouver le changement que doit apporter aux balan-</i>	



LIVRE TROISIEME.

Du Vaisseau considéré en mouvement.

PREMIERE SECTION.

Qu'on examine les loix que les fluides observent dans leur choc ; le vent en frappant les voiles, & l'eau en rencontrant la partie antérieure de la carène.

- CHAPITRE I. **D**E la maniere dont l'impulsion du vent sur la voile & le choc de l'eau sur la prouë, contribuent au fillage du Navire, page 349
- CHAP. II. De la mesure des chocs absolus de l'eau & du vent, 354
 Description d'un Instrument pour mesurer la force du vent, 359
- CHAP. III. De l'impulsion des fluides sur différentes figures & premierement sur une prouë formée de deux lignes droites, 363
 De l'impulsion de l'eau sur une prouë formée par un demi-cercle, 364
 De l'impulsion que reçoit une parabole, 367
- CHAP. IV. Méthode générale de trouver les impulsions des fluides sur les lignes courbes, avec quelques remarques sur ces impulsions, 369
 De l'impulsion dans le sens de l'axe, 370
 De l'impulsion dans le sens latéral ou dans le sens perpendiculaire à l'axe, 376
- CHAP. V. De l'impulsion des fluides sur les surfaces courbes, 378
 De l'impulsion que souffre une prouë conique, ibid.
 De l'impulsion que souffre une prouë conoïdale formée par la révolution d'un arc de cercle, 381
- CHAP. VI. Méthode de trouver l'impulsion que souffrent les surfaces courbes, en les partageant en plusieurs parties sensibles ij

blement planes ,	page 387
NOTE , dans laquelle on répond à quelques difficultés sur la longueur de cette méthode , &c.	ibid.
Trouver l'impulsion de l'eau dans la route directe sur une proue dont on a le plan ,	388
Trouver l'impulsion dans les routes obliques ,	391
CHAP. VII. Remarques sur les changemens que reçoivent les impulsions que souffrent les surfaces courbes , lorsque le fluide change de direction ,	397
CHAP. VIII. Suite du Chapitre précédent , dans laquelle on examine les changemens particuliers que souffre l'impulsion latérale , lorsque le fluide change de direction ,	409

SECONDE SECTION.

Où l'on tente la solution générale des principaux Problèmes de Manœuvre.

CHAPITRE I. D E la vitesse que prend le Vaisseau par rapport à celle du vent ,	page 417
CHAP. II. Du changement que le mouvement des surfaces produit au choc qu'elles reçoivent ,	423
CHAP. III. Suite du Chapitre précédent. Des changemens que le mouvement du Vaisseau apporte dans la force & dans la direction apparente du vent ,	428
CHAP. IV. De la relation qu'il y a entre la dérive des Vaisseaux & la situation de leurs voiles ,	434
TABLE générale des angles de dérive des divers Vaisseaux , pour tous les divers angles que fait la voile avec la quille ,	438
CHAP. V. Des différentes vitesses que prend le Vaisseau dans les routes obliques ,	440
CHAP. VI. De la construction des Tables des vitesses ,	453
CHAP. VII. De la disposition la plus avantageuse des voiles & du Vaisseau par rapport au vent , pour suivre une route proposée , pour gagner au vent , &c.	459

TROISIÈME SECTION.

Du Vaisseau considéré par rapport à la propriété qu'il doit avoir de bien gouverner, tant par le moyen du gouvernail que par le moyen des voiles

CHAPITRE I. **D**E la situation des mâts, de leur nombre, & de l'équilibre qu'il doit y avoir entre les voiles de la prouë & de la poupe, 473

CHAP. II. De la figure qu'il faudroit donner aux Vaisseaux pour qu'ils gouvernassent parfaitement bien par le moyen des voiles, 480

CHAP. III. De l'endroit où le Vaisseau doit avoir sa plus grande largeur, pour être plus sensible à l'effet du gouvernail, 488

CHAP. IV. Méthode de reconnoître si un Vaisseau qu'on se propose de construire, gouvernera avec facilité; ou examen du mouvement que doit prendre un corps que deux puissances tendent à faire tourner en même tems de deux différens côtés, 497

CHAP. V. Suite du Chapitre précédent; usage des principes établis ci-devant pour déterminer la quantité du mouvement de conversion que prend un corps exposé à l'action de plusieurs puissances, 502



QUATRIÈME SECTION.

Où l'on examine le Vaisseau par rapport à la qualité qu'il doit avoir de bien porter la voile ou de recevoir une voilure avantageuse.

- CHAPITRE I. **D**E l'effort mutuel vertical que forment ensemble les impulsions du vent sur les voiles & de l'eau sur la prouë, page 509
- CHAP. II. Des différentes situations que l'effort mutuel vertical des chocs du vent sur les voiles & de l'eau sur la prouë, fait prendre au Navire; & des conditions de la mâture parfaite, 514
- NOTE dans laquelle on répond à l'extrait de deux Lettres anonymes publié par M. Saverien. 515
- CHAP. III. Principe général pour déterminer la plus grande hauteur qu'on peut donner sans risque à la mâture; avec quelques remarques sur la force qu'ont les Vaisseaux de divers rangs pour porter la voile, 521
- CHAP. IV. Suite du Chapitre précédent; déterminer la limite de la plus haute mâture, & application de cette règle à quelques Navires, 528
- Application du Problème précédent à un Vaisseau du premier rang, 531
- Application du même Problème à la Frégate la Gazelle, 534
- CHAP. V. Dans lequel après avoir répondu à quelques objections, on examine laquelle des dimensions des voiles on doit s'attacher à augmenter, & s'il est à propos que les différens mâts d'un Navire soient de différentes hauteurs, 535
- CHAP. VI. Un Navire étant donné ou déjà construit, déterminer la mâture la plus avantageuse qu'il peut recevoir, lorsqu'on a la liberté de le faire enfoncer plus ou moins dans l'eau, 540
- CHAP. VII. De la forme que doivent avoir les Vaisseaux dans le sens de leur grosseur, pour mieux porter la voile & aller plus vite, 551

DES CHAPITRES.

xxxix

CHAP. VIII. <i>De la grosseur qu'il faut donner aux Vaisseaux par rapport à leur longueur , pour qu'ils portent mieux la voile , avec le moyen d'augmenter extraordinairement la vitesse de leur sillage ,</i>	561
---	-----

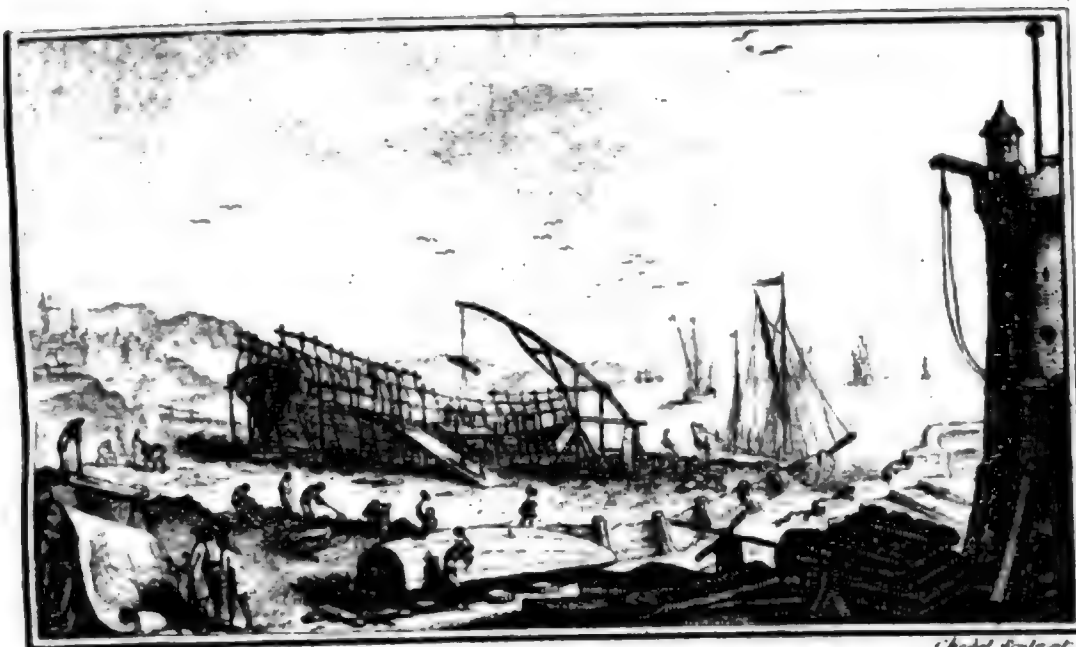
CINQUIÈME SECTION.

Du Navire considéré par rapport à la rapidité de son sillage
& à la propriété qu'il doit avoir de dériver peu
dans les routes obliques.

CHAPITRE I. E <i>Xamen des figures les plus simples qui reçoivent le moins d'impulsion qu'il est possible de la part des milieux dans lesquelles elles se meuvent ,</i>	page 572
TABLE <i>des dimensions de la prouë angulaire & rectiligne dans le sens horisontal, laquelle éprouve la moindre résistance de la part de l'eau ,</i>	579
CHAP. II. <i>De la prouë en conoïde qui fend l'eau avec le plus de facilité qu'il est possible ,</i>	580
TABLE <i>des dimensions de la prouë conoïdale qui fend l'eau avec le plus de facilité ,</i>	581
TABLE <i>des dimensions d'un nouveau conoïde qui doit éprouver peu de résistance en traversant les milieux ,</i>	586
TABLE <i>des dimensions de deux prouës conoïdales qui n'éprouvent la moindre résistance de la part de l'eau, que lorsqu'elles ne sont pas entièrement sumergées ,</i>	588
CHAP. III. <i>Une base étant donnée , trouver la figure du solide dont il faut la couvrir , pour que l'impulsion qu'elle souffre en traversant un fluide , soit la moindre qu'il est possible ,</i>	589
CHAP. IV. <i>De la formation de plusieurs autres prouës qui éprouvent la moindre résistance possible en fendant l'eau ,</i>	599
CHAP. V. <i>De la prouë de la plus grande vitesse ou de celle qui rend le Vaisseau le plus capable de porter la voile , en même tems qu'elle fend l'eau avec plus de facilité ,</i>	612
CHAP. VI. <i>Détermination de la figure de la prouë de la plus</i>	

grande vitesse, lorsqu'elle est terminée par un simple trait horizontal,	page 624
TABLE des dimensions des prouës curvilignes de la plus grande vitesse,	632
CHAP. VII. De la figure qu'il faut donner à toute la partie postérieure de la carène, lorsqu'elle est terminée par un simple trait horizontal, & de la maniere de s'en servir pour former des gates,	636
CHAP. VIII. Suite du Chapitre précédent; examen de la figure qu'il faut donner à la poupe lorsqu'elle est un conoïde, & de la maniere d'en former une Frégate,	646
<u>TABLE des dimensions de la poupe conoïdale qui contribue le plus qu'il est possible au sillage par l'impulsion qu'elle reçoit du reflux de l'eau,</u>	<u>651</u>
CHAP. IX. De la forme que doivent avoir les Navires de transport & les Navires de guerre, & d'une dernière forme pour les Frégates,	652
<u>Première solution, pour le cas dans lequel la prouë est formée par deux plans verticaux qui font un angle,</u>	<u>653</u>
<u>Seconde solution, pour le cas dans lequel la prouë est terminée par un seul plan incliné en avant,</u>	<u>660</u>
<u>Méthode particulière de former les Vaisseaux de guerre & les Frégates,</u>	<u>663</u>
CHAP. X. Suite du Chapitre précédent: examen de la figure particulière qu'il faut donner à la prouë des Navires de transport,	665
<u>TABLE des dimensions de la prouë du plus grand mouvement,</u>	<u>674</u>
<u>CONCLUSION,</u>	<u>679</u>

Fin de la Table des Chapitres.

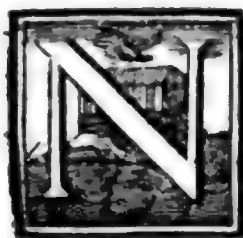


TRAITÉ DU NAVIRE, DE SA CONSTRUCTION, ET DE SES MOUVEMENTS:

LIVRE PREMIER:

Idée générale de la Construction , avec diverses remarques sur les regles ordinaires.

Qui dubiis ausus committere flatibus alnum;
Quas Natura negat , præbuit Arte vias. *Claud.*



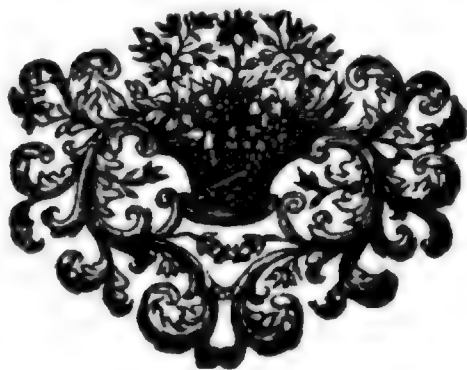
NOUS nous proposons en traitant de la construction des Vaisseaux , & de la Mécanique de leurs mouvemens , de substituer , s'il se peut , des regles exactes & précises , aux pratiques obscures & tatonneuses qui sont en usage dans la Marine. L'Architecture Navale , à parler
A

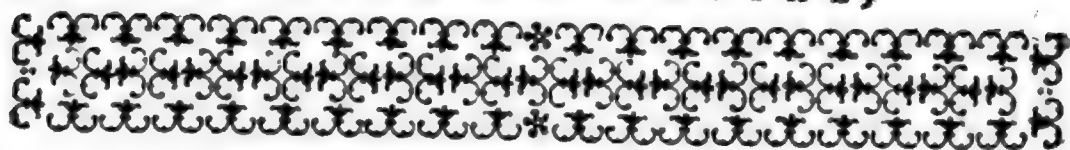
dans la rigueur , n'a point été un Art jusques à present ; nous voulons faire enforte qu'elle en devienne un , & qu'on n'agisse désormais dans toute cette matiere qu'avec lumiere & pleine connoissance de cause. Il est certain que ce sujet est digne par une infinité d'endroits de l'attention des Lecteurs & de celle des plus habiles Mathématiciens. Outre qu'il s'agit du salut & de la conservation des Marins qui ne craignent pas de s'exposer aux plus grands périls pour notre propre utilité , on ne sçauroit trop travailler à perfectionner un Art , qui après nous avoir appris , contre notre attente , qu'il y avoit des peuples au-delà des mers dans les endroits les plus reculés de la Terre , nous rend leur commerce extrêmement facile , nous met à portée de leur communiquer nos loix & nos usages , & qui réussit si heureusement à nous procurer les richesses de tous les divers Païs. D'un autre côté, le Vaisseau dirigé ou animé , pour ainsi dire , par le Manœuvrier , constitue comme une admirable machine , ou comme un grand Automate , qui ne tient pas moins du poisson par la forme de sa carène , que de l'oiseau par l'usage de ses voiles : il ne doit pas moins à l'une qu'à l'autre de ces conformités l'avantage de franchir les plus grands espaces avec la plus extrême promptitude. Rien ne fait plus d'honneur à l'invention & à la hardiesse des hommes que le succès d'une pareille entreprise , & on peut à juste titre la regarder comme leur chef-d'œuvre. Jamais ils n'ont travaillé à aucun ouvrage , où il soit nécessaire d'une connoissance plus profonde des forces mouvantes , où il s'agisse d'intérêts plus importants , où le Physique se trouve plus mêlé avec le Géométrique , où enfin toutes les parties en plus grand nombre ayent des dépendances plus étroites & plus secretes.

Quoique nous soyons disposés à changer entierement , s'il le faut , les pratiques anciennes , nous tâcherons cependant de profiter de ce qu'elles peuvent avoir de bon ; & nous ne ferons autre chose que les corriger ou les mo-

LIVRE PREMIER

Àifler, lorsque ce simple changement nous paroîtra fuffire. C'est ce qui nous invite en partageant ce Traité en trois Livres, de destiner autant ce premier à représenter l'état actuel de la Construction qu'à donner une idée générale de cette partie de notre sujet, & ce ne sera que dans les deux Livres suivans que nous nous livrerons plus particulièrement aux nouvelles recherches que nous croirons indispensables. Dans le second, nous examinerons la pesanteur du Vaisseau, l'espace qu'il occupe dans la mer & toutes les circonstances de son état, lorsqu'il flote, mais qu'il ne singe pas. Dans le troisiéme, nous le considérerons en mouvement, & nous tâcherons de développer toutes les particularités de ce second état ; objet principal, ou plutôt unique, qu'on doit même avoir en vûe dans les autres discussions. Si les deux sujets, la Construction des Vaisseaux & la Mécanique de leurs mouvemens, ne sont pas absolument inféparables, il est au moins clair qu'on ne peut pas traiter le premier à fond & jusqu'à l'établir sur des principes certains, sans examiner le second ; puisque les Navires ne sont faits que pour se mouvoir.





PREMIERE SECTION.

Où l'on traite de la figure du Vaisseau & de ses parties intérieures.

CHAPITRE PREMIER.

Des différentes especes de Navires.

A Peine la Navigation fut-elle inventée qu'on se hâta, pour ainsi dire, d'en changer l'usage, en renonçant en partie aux avantages qu'elle offroit. Dans le dénombrement des différens ordres de Navires que nous sommes obligés de faire, nous commencerons par les plus grands, & ce sont ces mêmes qui étant actuellement chargés & encore plus embarrassés de leur propre artillerie, ne sont d'aucune utilité, si ce n'est pour la guerre. On les distingue en différens rangs ou en différentes classes : cette distinction est toujours fondée, ou sur le nombre de canons qu'ils peuvent porter, ou sur la multitude d'étages qu'ils ont principalement vers la poupe.

I.

Des Vaisseaux du premier rang.

Les premiers, ou ceux qu'on nomme du *premier rang*, sont armés de 100 ou 120 canons, ils ont de longueur 170 ou 180 pieds, de largeur un peu moins de 50, & leur artillerie est distribuée de chaque côté en trois batteries complètes placées par étages les unes au-dessus des autres. Ces étages sont formés par trois especes de planchers qu'on nomme *Ponts*, & le supérieur en particulier le *Tillac*. Chaque batterie est composée de chaque côté du

Vaisseau de 15 ou 16 canons : les embrasures qui prennent dans les Vaisseaux le nom de *Sabords*, ont un peu plus de trois pieds de largeur pour les plus gros canons, pour ceux de 36 ou de 48 livres de bale; & leur intervalle est ordinairement de $7\frac{1}{2}$ pieds. Outre ces trois batteries complètes, on met le plus souvent cinq canons de chaque côté sur un demi-pont qui est plus haut, qu'on nomme le *Gaillard*, lequel commençant à l'arrière, vient se terminer vers le milieu du Navire. Il y a aussi du canon sur le gaillard ou *Château d'avant*, ordinairement trois de chaque côté; & enfin au-dessus du gaillard de l'arrière, il y a encore deux étages qu'on nomme *Dunettes*, & on met au moins sur la première du canon de petit calibre.

La première batterie, c'est-à-dire, la plus basse, est formée de canons de 48 livres de bale, & il y en a 15 de chaque côté. La seconde batterie, qui est immédiatement au-dessus, a des canons de 18 livres & il y en a 16 de chaque côté, le Navire étant en haut un peu plus long : ces canons répondent exactement au milieu des intervalles de ceux de la première batterie qui sont au-dessous. Enfin la troisième qui est celle du tillac, a du canon de 12 livres, & il n'y en a que 15 de chaque côté, quoique le Navire se trouve encore un peu plus long; mais on veut conserver un grand espace, sur tout en arrière, pour la commodité du logement. Les canons des gaillards sont de 8 livres, & ceux de la première dunette sont de 4. Comme on ne construit guères de Vaisseaux du premier rang l'usage n'a rien de décidé bien absolument sur tout cela. La longueur du Navire devient déterminée par le nombre des canons qu'on veut donner à la première ou à la seconde batterie : car l'expérience a montré qu'il faut mettre pour le service de l'artillerie l'intervalle qu'on a indiqué, 7 pieds & demi, ou au moins 7 pieds entre les sabords, afin que le feu que repand un canon par sa bouche ou par sa lumière ne puisse pas se communiquer aux autres, & qu'outre cela les Canoniers ne se trouvent pas gênés. Il y auroit moins d'inconvénient à augmenter les

intervalles , & c'est ce qu'on a fait quelquefois. Une batterie de 16 canons , y compris ses deux extrémités , occupe de cette sorte plus de 170 pieds de longueur.

Les Vaisseaux du *premier rang* ont , comme on le voit , trois ponts & demi & deux dunettes ; de sorte que sans compter la *cale* ou la capacité intérieure qui est embarassée par la charge & par les munitions , ils ont vers la poupe cinq étages les uns au-dessus des autres , distingués par six planchers. Ces cinq étages ont des retranchemens pour servir à la retraite des Officiers , & pour servir aussi à leur assemblée commune. Il y a une trentaine de chambres & il ne faut pas moins d'une vingtaine d'Officiers pour tout régler dans un Navire où l'on est continuellement en action , & dont l'Equipage est d'environ 1200 hommes. Chacun des cinq étages a peu de hauteur , on le juge assez ; celui de la *Chambre de Conseil* , qui est au-dessus du troisième pont ou du *tillac* , n'a pas ordinairement 7 pieds , & le moindre qui est celui de la seconde dunette ou de la dunette supérieure , n'en a pas 5 : mais ces étages font ensemble une hauteur qui ne peut pas manquer d'être nuisible. Le poids de tous les matériaux qui forment les appartemens & ces planchers immenses qui forment les ponts , joints à la pesanteur de l'artillerie , font cause que le centre de gravité de tout le Vaisseau , ou son point le plus pesant , est presque toujours trop élevé. Outre cela le vent qui frappe avec force sur cette poupe si haute , fait souvent tort à l'effet des voiles. Depuis quelques années on a en France supprimé presque entièrement les dunettes supérieures , & ce retranchement n'a dû produire que d'excellens effets par rapport à la Navigation.

*Vaisseaux
du second
rang.*

Les Vaisseaux qu'on nomme du *second rang* , n'ont que trois ponts & deux dunettes , de sorte qu'il leur manque ce demi-pont ou ce grand gaillard qui caractérise les premiers , & leur poupe n'a que quatre étages. Ils ont bien un gaillard , mais qui au lieu d'être de la moitié de la longueur du Navire , n'en est guères que le tiers , & encore est-il compté lorsqu'on dit que ces Navires ont deux du-

nettes. Ils ont 150 ou 155 pieds de longueur, & sont armés de 80 ou 90 canons. Depuis qu'on a supprimé les dunettes supérieures il paroît qu'on confond quelquefois le second rang avec le premier, & qu'on fait entrer maintenant dans le second, des Vaisseaux qui appartiennent plutôt au troisième dont nous allons parler, mais qui sont cependant un peu plus grands. L'usage n'a fait encore que changer la signification du nom de rang, & n'a pas réussi à la fixer.

Les Vaisseaux du troisième rang ont 135 ou 145 pieds de longueur, ils sont montés de 60 ou 70 canons, & ils n'ont que deux ponts & demi avec une seule dunette; ce qui ne leur donne que trois étages vers la poupe. Les Marins qui ont fréquenté le plus la mer, assurent tous unanimement que ce sont ces sortes de Vaisseaux qui se comportent le mieux dans les tempêtes, & ils le feroient encore beaucoup mieux s'ils n'étoient pas tant chargés d'artillerie, quoiqu'ils n'en ayent pas ordinairement sur leurs dunettes. Un vent qui est trop impetueux pour un petit Navire, ne fait que mettre celui du troisième rang en mouvement, le fait marcher avec plus de vitesse, ou le fait passer plus promptement d'une route à l'autre. Il est préférable aussi presque toujours aux Vaisseaux des deux premiers rangs, parce que ces derniers sont encore plus chargés d'artillerie à proportion; qu'ils sont encore plus pesants par en haut, & qu'outre cela leur seule grandeur leur devient souvent funeste. Dans les tempêtes ces plus grands Vaisseaux se trouvent livrés à toute la fureur du mauvais tems, parce qu'il est peu de Ports assez profonds où ils puissent se retirer: & lorsqu'il fait peu de vent, ce ne sont plus au contraire que de lourdes machines qui devenant quelquefois immobiles dans une action, sont investies aisément de tous côtés par d'autres Navires moins forts. Au reste ces trois différens ordres, constituent les Vaisseaux proprement dits, ou les *Vaisseaux de ligne*; & tous ceux qui sont au-dessous, n'ont plus que le nom de *Frégates*.

Les Vaisseaux des trois premiers rangs, les Vaisseaux

*Vaisseaux
du troisième
rang.*

*Vaisseaux
de ligne.*

à trois ponts & demi, les Vaisseaux à trois ponts & les Vaisseaux à deux ponts & demi, sont dits *de ligne*, parce qu'ils sont propres à soutenir le combat dans les Armées navales, & à s'arranger sur un ligne droite, pour présenter leur flanc à l'ennemi. De moindres Navires, comme ceux du quatrième rang qui n'ont que cinquante canons, ou ceux du cinquième qui n'en ont que 30, ne peuvent pas suppléer par leur grand nombre, parce qu'ils n'ont pas des canons assez gros, & que pendant qu'ils sont extrêmement maltraités par l'artillerie des plus grands Vaisseaux, ils ne peuvent faire que très-peu de tort à ceux-ci qui sont beaucoup plus hauts & beaucoup plus forts en bois. Cela n'empêche pas cependant qu'au défaut d'autres, on n'introduise quelquefois dans les Armées navales, lorsqu'il s'agit même du combat, des Frégates ou des Navires qui ont moins de 60 canons, & qui ne diffèrent ordinairement des Vaisseaux du troisième rang, que par la grandeur, sans en différer par la forme.

I I.

Frégates.

On a déjà dit que tous les Navires qui ont moins de 60 canons, ou qui sont au-dessous du troisième rang, se nomment *Frégates*. Cependant ce dernier nom sert principalement dans la Marine à marquer la legereté des Navires, & on l'applique plus particulièrement à ceux auxquels on a donné quelques parties de moins, afin de diminuer leur pesanteur. Lorsqu'il est question de Navires de guerre, il suffit qu'avec deux ponts, ils n'ayent qu'un très-petit gaillard, pour qu'ils soient *Frégates* : & si on rasoit un Vaisseau du premier rang, en lui ôtant le pont le plus haut, (ce qui peut quelquefois devenir nécessaire lorsqu'un pareil Vaisseau trop chargé par ses parties supérieures, ne peut pas naviger), il n'y a point de doute, vû la legereté qu'il acquerroit & le peu de hauteur qu'il auroit ensuite à proportion de sa largeur & de sa longueur, que tous les Marins ne s'accordassent à le nommer *Frégate*, quoiqu'il eût le même nombre d'étages que le Vaisseau du troisième

me

me rang, & qu'il portât encore 78 ou 80 canons, comme les Vaisseaux du second. Lorsqu'il s'agit au contraire de Navires Marchands, dont les plus grands n'ont que deux ponts & dont la fabrique est pesante, on ne donne le plus souvent le nom de Frégates qu'à ceux qui n'ont qu'un seul pont.

A l'égard des plus petits Navires, ils se subdivisent en un très-grand nombre d'especes; mais quelquefois leur différence ne consiste que dans la seule disposition de leur mâture. Les *Corvettes* sont de petites Frégates destinées pour porter des ordres, pour aller reconnoître des Navires éloignés, &c. Entre les Bâtimens de charge on distingue principalement les *Flutes*, qui sur la même longueur, sont par le dessous beaucoup plus grosses & plus plates que les autres Navires. Ce sont des especes de parallelipipedes rectangles dont on n'a fait, pour ainsi dire, qu'émousser les angles. Ces Flutes qui ont quelquefois deux ponts, quoiqu'elles soient toujours fort étroites, sont principalement en usage en Hollande & dans les autres endroits où l'eau a peu de profondeur, soit dans les ports, soit sur la côte. En France, & encore moins en Angleterre, on ne se sert guères de ces sortes de Bâtimens, & si nous donnons quelquefois le même nom à quelques uns de nos Navires, à cause de quelque léger rapport, ils en diffèrent cependant beaucoup. Nos Négocians préfèrent les Bâtimens qui sont moins plats par dessous, parce que s'ils ne portent pas une si grande charge, ils vont en recompense plus vite, ils sont plus propres à se défendre en tems de guerre & à éviter aussi l'ennemi par la fuite. On a encore les *Flibots* & les *Houcres* qui sont des especes de Flutes: mais il n'est pas, ce semble, nécessaire de descendre ici dans un plus grand détail, qui paroîtroit mieux convenir à un Dictionnaire. Au lieu que la grandeur des Vaisseaux de guerre se désigne ordinairement par leur rang ou par le nombre de canons dont ils sont armés; on exprime plus souvent la grandeur des Navires ou des Bâtimens de charge, par le poids qu'ils peuvent porter; & ce

poids est spécifié en tonneaux, dont chacun pèse 2000 livres poids de marc.

Il n'appartient qu'aux Souverains de faire bâtir des Vaisseaux du premier & du second rang, tant les frais en sont considérables, mais lorsque des particuliers entreprennent d'en faire construire qui semblent être du troisième, ils ne sont ordinairement que du quatrième. On jugera de l'énorme travail qu'exige la construction d'un Navire du premier rang, lorsqu'on saura qu'il faut employer plus de 4000 chênes, sans compter une prodigieuse quantité d'autres bois; il faut plus de 300 milliers de fer, & plus de 130, ou 140 mille journées d'ouvriers. Les Vaisseaux Royaux sont aussi toujours d'un échantillon plus fort que les Navires des particuliers: l'intervale entre leurs canons est plus grand; les ponts sont plus élevés, de sorte qu'indépendamment des ornemens & de la sculpture qui les distinguent, on remarque dans l'Architecture Navale, à peu près cette différence qu'on voit dans l'Architecture Civile, entre les Palais des Princes & les Maisons des simples Citoyens. Un Vaisseau de Roy de 48 ou 50 canons, est aussi grand qu'un Navire Marchand qui en porte 60. On demandera peut-être, s'il ne seroit pas à propos de donner moins de canons aux Navires des particuliers, ou d'en donner davantage à ceux du Roy. La question paroît fondée: mais il faut faire attention que les Vaisseaux Royaux ont des canons d'un plus grand calibre, & qu'ils sont plus forts en bois, ainsi qu'on l'a déjà dit; ce qui est comme nécessaire à cause de leur destination. Ils doivent présenter le flanc, non-seulement à d'autres Navires qui ont une aussi grosse artillerie, il faut qu'il le présente encore quelquefois aux Citadelles même qui sont sur le bord de la mer, & qu'ils puissent en foudroyer les défenses; ce que les autres Navires sont fort éloignés d'entreprendre.

III.

*Navires de
bas-bord.*

Toutes les especes de Vaisseaux & de Bâtimens dont

nous venons de parler , ne singlent ordinairement qu'à la voile. Il en est quelques-uns , mais qui sont souvent assez petits , qui sont de 100 ou de 200 tonneaux , ou qui ont 60 ou 80 pieds de longueur , qu'on nomme *Galioles* , *Tartanes* , *Brigantins* , *Bateaux* , *Barques* , &c. qui vont à voiles & à rames , selon les occasions ; & il y a enfin les *Galeres* qui sont faites principalement pour aller à rames. Tous ces Navires qui vont à rames sont nommés de *bas-bords* , pour les distinguer de ceux de *hauts-bords* , entre lesquels on ne laisse pas de mettre les plus grandes Frégates , quoique le nom de *hauts-bords* convienne particulièrement aux Vaisseaux de ligne ou des trois premiers rangs. Entre tous les Bâtimens de bas-bords , ce sont les *Galeres* qui ont moins de hauteur au-dessus de l'eau , & cela pour la commodité des Rameurs. L'expérience seule a dû perfectionner aisément ces sortes de Bâtimens ; apprendre la disposition la plus commode des rames ; la longueur de ces rames pour tirer le parti le plus avantageux de la force ordinaire des hommes ; la largeur de la Galere qui dépend principalement de la longueur de la partie intérieure de la rame. S'il reste enfin quelque chose à corriger encore , ce doit être seulement la figure de la carene , que le tâtonnement & le long usage n'ont pas pû faire rencontrer avec la même facilité. Cependant comme la prouë de la Galere , sur une longueur ou une saillie très-considérable , n'enfonce que très-peu dans l'eau , presque toutes les figures qu'on peut lui donner , sont indifférentes ; aussi-tôt qu'elles viennent se terminer insensiblement en pointe. Ainsi il n'y a point de doute que de tous les Navires , ce ne soit celui-ci où il y a le moins à réformer.



C H A P I T R E I I .

*Des principales parties du Vaisseau & leurs proportions
selon les regles ordinaires.*

PERSONNE n'ignore la forme extérieure qu'ont les Vaisseaux , & que si on s'est proposé d'imiter dans leur figure celle des poissons qui nagent le mieux , on a voulu en même tems , dans l'arrangement des différentes pieces intérieures qui les composent , imiter la structure du squelette de la plûpart des animaux. *La quille.* La quille , cette longue poutre , ou plutôt cet assemblage de poutres mises bout à bout , qui est au-dessous de tout l'ouvrage , & qui en est la base , est comme l'épine ; pendant que toutes les pieces de bois courbées , qu'on nomme les *membres* & quelques autres fois les *varangues* , les *couples* , représentent les côtes de l'animal. La quille est la premiere piece qui se pose sur le chantier ; & comme il arrive souvent qu'on n'a point de poutres assez longues pour la former d'une seule piece , on la fait de trois ou quatre parties qu'on joint les unes au bout des autres par des especes d'entailles. On nomme ces entailles , *endentures* , *escares* , ou *empatures* ; & on a le *Les esca-*
res. soin de les rendre assez longues , le plus souvent de 9 ou 10 pieds ; afin de donner plus de force au tout. La quille de nos plus grands Vaisseaux ; de ceux du premier rang , est d'environ 150 pieds ; c'est la longueur qui , pour parler comme les Marins , *porte sur terre* , quoiqu'elle soit faite pour n'y pas porter. Les constructeurs donnent pour l'ordinaire autant de pouces de largeur & de hauteur à la quille que la septième partie de sa longueur contient de pieds : c'est-à-dire , pour exprimer la chose d'une maniere plus simple , qu'on fait l'épaisseur la quatre-vingt-quatrième partie de la longueur. Si la quille a 140 pieds de long , on lui donnera 20 pouces de hauteur & autant de largeur.

La longueur portant sur terre.

Aux deux extrémités de la quille s'élevent deux pieces de bois, celle de l'avant beaucoup plus inclinée que celle de l'arriere; & ces deux pieces terminent le Vaisseau dans le sens de sa longueur. La premiere ou celle de l'avant, qui est *l'étrave*, est toujours courbée à peu près comme l'est un arc de cercle de 70 degrés. Elle a de hauteur verticale à peu près le quart de la longueur de la quille, ou un peu moins, selon plusieurs autres Constructeurs, qui ne lui donnent de hauteur que $28 \frac{1}{2}$ pieds, lorsque la quille est de 124. Cette piece de bois est, comme je l'ai dit, panchée en avant; elle a de faillie la moitié de sa hauteur, ce qui fait à peu près la huitième partie de la longueur de la quille; mais quelquefois on lui en donne beaucoup davantage. Cette faillie est nommée en termes d'art *l'élanement de l'étrave*.

L'étrave & sa hauteur.

L'élanement de l'étrave & sa quantité.

L'autre piece de bois qu'on nomme *l'étambot* est élevée à l'autre extrémité de la quille ou à l'extrémité de l'arriere; & on lui donne ordinairement une quarantième partie moins de hauteur verticale qu'à l'étrave. Cette piece de bois panche aussi & en dehors, mais seulement de la quatrième dont panche l'étrave, & cette inclinaison se nomme *la queue*. Ainsi *la queue de l'étambot* est égale au quart de *l'élanement de l'étrave*. On voit assez la raison pourquoi l'étrave est panchée en avant; c'est pour contribuer à former la faillie ou la courbure de la proue; cette disposition est comme nécessaire: mais il paroît que rien n'obligeoit de faire aussi pancher l'étambot & de lui donner de la queue; si ce n'est l'envie qu'on a eu d'augmenter la longueur du Vaisseau par en haut, & de rendre l'arriere plus étendu & plus capable de fournir des logemens commodes aux Officiers. D'un autre côté cette situation de l'étambot est cause que le poids de toute la poupe qui est au-dessus & qui est augmenté par les galeries, &c. fait un grand & continuel effort pour faire pancher encore plus l'étambot, ou pour ouvrir l'angle obtus qu'il fait avec la quille. Cet inconvenient qui ne laisse pas d'avoir des suites fâcheuses, cesseroit tout d'un coup, si on vouloit se ré-

La queue de l'étambot & sa quantité.

soudre à perdre quelques pieds sur la longueur superflue du Vaisseau , en posant l'étrambot plus verticalement.

La longueur du Vaisseau

La longueur des Vaisseaux se prend toujours dans la Marine depuis le haut de l'étrambot jusques au haut de l'étrave. Ainsi la longueur proprement dite est plus grande que celle qui porte sur terre des deux quantités dont l'étrave & l'étrambot panchent en dehors. Tantôt les Constructeurs régulent toutes les parties du Vaisseau sur la seule longueur de la quille , tantôt ils les régulent immédiatement sur la longueur proprement dite , ou prise du haut de l'étrambot au haut de l'étrave , ou de *cap en cap*. Dans ce second cas , il faut retrancher de la longueur du Navire environ une neuvième partie du côté de l'avant pour l'élançement de l'étrave ; retrancher en même tems en arrière une trente-sixième partie pour la queue de l'étrambot , & le reste qui est de 31 trente-sixièmes du tout , sera la longueur de la quille.

Les membres.

Ces pieces de bois courbées , que les Constructeurs nomment *membres* , & qui étant comme les côtes du squelette s'arrangent perpendiculairement au-dessus de la quille , sont toujours formées de plusieurs parties dont chacune a son nom. La *varangue* est la partie d'embas qui est presque plate dans le milieu du Vaisseau & qui s'applique immédiatement sur la quille ; souvent , mais par extention , on donne le même nom à l'assemblage de toutes les pieces ou des membres qui forment la courbe entiere. Les *genoux de fond* , ou simplement les *genoux* , sont les deux pieces qui se joignent aux deux extrémités de la varangue & qui forment un plus grand arrondissement : au-dessus sont d'autres pieces qu'on nomme *allonges* & qu'on distingue par premières , par secondes & même par troisièmes , jusqu'à ce qu'on soit parvenu assez haut. Mais les *allonges* d'en haut qui au lieu de présenter au dehors leur convexité , présentent au contraire leur concavité , prennent le nom d'*allonges de revers*. Toutes ces pieces se joignent ensemble en mettant l'extrémité de l'une à côté de l'extrémité de l'autre , & cette jonction se nomme *empâture* : ou

Les genoux de fond.

Les allonges.

Allonges de revers.

bien on les met au bout les unes des autres ; mais pour qu'elles se soutiennent , on met à côté un autre assemblage de varangue , de genoux , d'allonges , en faisant en sorte que les jonctions des pieces d'un assemblage répondent vers le milieu des pieces de l'autre ; & le tout étant fortement chevillé ensemble , fait une double côte qu'on nomme *couple* par cette raison. On nomme aussi ces couples *gabaris* , quoique ce dernier nom convienne plutôt au modèle fait en planches , pour représenter la courbure qu'on doit donner aux membres. Les couples
Les gabaris.

On voit la plus grande partie de ce que nous venons de dire dans la figure premiere. La quille AB est formée de quatre pieces jointes l'une à l'autre par les *escars* que nous n'avons pas oublié de représenter. A est l'extrémité de l'arrière qu'on nomme *ralon* , & B l'extrémité de l'avant qu'on nomme *brion* ou *ringiot*. La piece de bois AC est l'étambot , & la distance AF interceptée par le *ralon* & par la perpendiculaire CF abaissée du haut de l'étambot sur le prolongement de la quille , est la queue que nous prétendons qu'il n'y auroit point d'inconvenient à diminuer ni même à détruire. L'étambot est fort large par en bas ; il a deux fois plus de largeur que la quille n'a ordinairement de hauteur. Il entre dans la quille par une mortaise , & il y est outre cela encore lié par une piece de bois courbe PQR , qui fait un angle obtus , & dont la branche qui s'applique sur la quille dans les plus grands Vaisseaux à 8 ou 9 pieds de long & l'autre 12 ou 13. Cette piece de bois prend son nom de sa figure , on la nomme *courbe* : il en entre beaucoup d'autres de la même figure & du même nom , dans la construction du Vaisseau. La piece de bois BD placée de l'avant est l'étrave & BE est son élancement. La longueur du Vaisseau est prise ordinairement (nous le repetons) depuis le haut D de l'étrave jusqu'au sommet C de l'étambot. L'étrave soutient toutes les pieces qui forment l'épron , cette partie destinée à l'ornement du Navire ; & la *gorgere* ou *le taille mer* W , y est immédiatement attaché. La poulaine est aussi toute cette

Fig. 1.

partie de l'avant , mais en la confondant avec le corps même du Vaisseau auquel elle se joint. Il faut remarquer qu'on est assujetti à donner à l'étrave une certaine hauteur , parce que le mât de beaupré , ce mât incliné en avant & qui sort du Vaisseau , s'appuye sur son sommet D. Enfin on voit dans la même figure quelques varangues ou quelques couples ; mais le Lecteur doit sçavoir qu'on en met un si grand nombre dans la fabrique des Vaisseaux , qu'elles ne laissent entr'elles que peu d'intervale , & qu'il y a presque toujours plus de plein que de vuide.

Fig. 1. La seconde figure qui représente une couple entiere , montre d'une maniere plus précise les parties dont elle est composée. EF est la varangue ; EL & FK sont les deux genoux , & les autres pieces ajoutées au-dessus de celles-ci sont les allonges , & la dernière est l'allonge de revers. Cet assemblage de pieces se joint & s'attache à un autre , comme j'en ai déjà averti , ce qui lui a fait donner le nom de couple , ou ce qui y a contribué.

Vers le milieu du Vaisseau les varangues sont presque plates , & c'est pour cela que EF s'appelle *le plat* de la varangue ou du Vaisseau , quoiqu'il ne le soit pas exactement. Les deux quantités IF & HE , dont les deux extrémités de la varangue s'élèvent , s'appelle l'*acculement*. Les Constructeurs disputent beaucoup entr'eux sur la grandeur du plat , mais on voit clairement que cette dispute est absolument inutile , tant que l'acculement n'est pas déterminé. A mesure qu'on considère le Vaisseau plus vers l'avant & plus vers l'arrière , le plat des varangues diminue , & l'acculement augmente. Les *varangues acculées* & les *fourcats* sont celles dont les deux branches commencent à faire un angle aigu ou même droit , & les genoux qui présentent alors leur concavité en dehors prennent le nom de *genoux de revers*. Les membres OS & OT (Fig. 1.) qui forment la poupe , se nomment en particulier *estains* , & *cornieres* les allonges comme TY. On applique aussi sur l'étrave des membres en forme de côtes , & ce sont les *allonges d'écubier* à cause des *écubiers* qui sont au-dessus , qui sont des

Le plat de la varangue.

L'acculement des varangues.

Les varangues acculées & les fourcats.

Les genoux de revers.

Les estains & cornieres.

Les allonges d'écubier.

des trous faits au haut de la prouë par lesquels passent les cables qui servent à retenir le Navire. Je reviens à la figure de la carène qui n'imité la forme des poissons que par le retrecissement de ses varangues vers l'avant & vers l'arriere, & que par l'augmentation de son acculement. C'est ce qui fait que le Navire, pour parler comme les Marins, est *taillé* ou *façonné*, qu'il est *frégaté* ou que *ses fonds sont fins*. Ainsi le Vaisseau qui a beaucoup de *façons*, c'est celui dont la carène diminue très-subitement de grosseur par dessous, vers la poupe & vers la prouë, ou dont les varangues ont beaucoup d'acculement. Le plat des varangues se réduisant à rien au point K de l'étrave (Fig. 1.) la hauteur & K y représente l'acculement, qu'on nomme en particulier *hauteur des façons de l'avant*; & par la même raison AO est la *hauteur des façons de l'arriere*.

Le Navire qui est *taillé*.
Qui est *frégaté*.
Qui a beaucoup de *façons*, dont les fonds sont fins.
Hauteur des façons de l'avant & de l'arriere.
Les baux.

On voit aussi dans la figure 2, & nous les avons représentés encore dans la figure premiere, les *baux*, ces poutres qui soutiennent les ponts ou planchers du Vaisseau. Les baux sont joints aux membres par le moyen des courbes que nous avons marquées dans l'une & l'autre figure, & ils sont étendus dans le sens de la largeur du Navire. Ils ont tous une courbure considérable: cette courbure est telle dans le bau le plus long AB (Fig. 2.) que le point D qui est au milieu de sa surface inférieure, se trouve ordinairement en ligne droite avec les deux extrémités A & B de sa surface supérieure. Cette courbure qu'on nomme *bouge*, sert non-seulement à empêcher le trop grand recul des canons, lorsqu'on les tire; mais aussi à faciliter l'écoulement des eaux qui sans cela pourroient séjourner sur les ponts.

Le plus grand des baux se nomme le *maître bau*, & il indique le *fort du Navire*, c'est-à-dire, l'endroit le plus large. L'assemblage des membres, la varangue, les genoux, &c. qui se pose dans le même endroit, se nomme la *maîtresse couple*, la *maîtresse varangue*, le *maître* ou le *premier gabari*. Tous ces noms étant établis par un long usage, nous ne pouvons pas nous empêcher de les admettre. Les derniers baux de l'arriere changent de nom, on les nomme *barres*

Le maître bau. Le fort du Navire.
La maîtresse couple, la maîtresse varangue, le maître gabari.

Les barres d'arcaste. d'arcaste , parce que l'arriere du Vaisseau , cette partie qui se termine presque verticalement , se nomme l'arcaste. Enfin la poutre ST (Fig. 1.) qui est bien une des barres d'arcaste , mais qui est située dans l'endroit le plus large de la poupe ou dans son fort , & presque toujours au haut de l'é-tambot , se nomme en particulier la barre ou la lisse d'hourdy.

La lisse d'Hourdy.

C H A P I T R E I I I .

Suite du Chapitre précédent , dans laquelle on continue à expliquer les noms & les proportions des principales parties du Vaisseau.

De l'endroit où l'on met la maîtresse varangue.

N O U S continuons notre description en commençant par avertir le Lecteur , de tâcher de dissiper par son attention , ou par une lecture réitérée , l'obscurité qui est inséparable de pareils détails , vû la multitude des objets & la difficulté qu'il y a d'y apporter tout l'ordre qu'on souhaiteroit. C'est la maîtresse couple ou la maîtresse varangue qui sépare , l'une de l'autre , les deux parties du Vaisseau , de l'avant & de l'arriere. Au lieu de la mettre au milieu de la longueur du Navire , on la place toujours un peu plus vers la prouë , ce qui rend cette partie plus courte & plus grosse. Plusieurs Constructeurs la mettent aux $\frac{1}{12}$ de la quille , à commencer de l'avant ; c'est-à-dire , que toute la quille BA (Fig. 1.) étant divisée en 12 parties égales , il y en a cinq depuis son extrémité B jusqu'au point G , ou on place le premier gabari ; de sorte qu'il se trouve à peu près à une trente-sixième partie de toute la longueur DC du Navire plus en avant que le milieu. On le portoit le tems passé plus vers la prouë , en ne le plaçant qu'au tiers de la quille ; mais on a eu quelque raison , comme on le verra dans la suite , de le reculer davantage vers l'arriere , quoique nous croyons qu'on l'a trop reculé.

Le maître bau représenté par AB dans la figure 2 , & par VX dans la première , a souvent de longueur le quart de la quille ; cependant dans les Vaisseaux du Roy , qui ont besoin d'être larges à cause du mouvement qu'il faut que se donne l'équipage dans les combats ; on augmente souvent cette longueur du bau , jusqu'à la rendre , ou peu s'en faut , le tiers de celle de la quille. Si l'on considère les dimensions sans relation les unes aux autres , c'est la largeur à laquelle il est le moins permis de toucher dans les Vaisseaux de guerre , au moins pour la diminuer. Lorsqu'on est en pleine mer , on retire la chaloupe à bord & on la place au milieu du pont ; & il faut qu'il y ait encore assez d'espace des deux côtés pour permettre le recul des canons & faciliter leur service. On est attentif à donner aussi plus de largeur à ces derniers Navires à mesure qu'on les rend plus hauts , ou qu'on multiplie leurs ponts : & c'est ce qui est très-naturel , ou plutôt c'est ce qui est absolument nécessaire , comme on le verra dans le Livre suivant.

De la plus grande largeur du Vaisseau ou de la longueur du maître bau.

On construisoit il y a un siècle des Vaisseaux encore plus larges : le P. Fournier nous assure qu'on a souvent mis de son tems , entre le bau & la quille , le rapport de 5 à 14 , & que ces Vaisseaux se sont trouvés excellens. Mais ce qui fait toucher au doigt , en attendant que nous le prouvions par des raisons démonstratives , qu'on ne peut pas beaucoup compter sur toutes ces prétendues expériences qui servent néanmoins d'unique fondement aux règles ordinaires , c'est qu'on a fait en même tems des Navires auxquels on n'a donné de largeur qu'environ la cinquième partie de la longueur de leur quille & qui n'ont pas moins bien réussi. Les Constructeurs qui évitent le plus qu'ils peuvent les opérations d'Arithmétique , se font pour cela des règles particulières dont on se contentera de donner ici un exemple , en rapportant celle dont ils se servent quelquefois pour trouver la largeur de leur Navire , non pas par rapport à sa quille , mais par rapport à la longueur totale ; & on pourra s'en servir dans les plus grands Vaisseaux de guerre. Ils donnent au bau autant de fois trois

Cij

pouces & trois lignes de plus , que cette longueur totale contient de pieds. La longueur du Vaisseau est-elle de 170 pieds depuis le haut de l'étrave jusqu'au haut de l'étambot ? ce sont cinq cens dix pouces & cinq cens dix lignes , ou 46 pieds $\frac{1}{2}$ pouce qu'il faut donner au bau ; ou ce qui revient au même , on lui donne treize quarante-huitièmes de la longueur du Navire : c'est-à-dire , le quart de la longueur & de plus la douzième partie de ce quart.

De la
quantité du
plat de la
maîtresse
varangue.

Le bau étant réglé on s'en sert pour déterminer beaucoup d'autres dimensions qui se règlent aussi sur la longueur de la quille , & c'est ce qui met dans les proportions qu'employent les Constructeurs , une confusion qui les embarrasse quelquefois eux-mêmes. Il seroit bon en attendant qu'on scût les véritables règles , qu'on ne fit dépendre une dimension d'une autre , qu'autant qu'on voit qu'il doit y avoir entr'elles une relation immédiate. Il est naturel , par exemple , de régler sur le bau , le plat de la maîtresse varangue ; on le fait ordinairement en France de la moitié du bau : mais puisqu'on s'est résolu de nommer plat ce qui le plus souvent ne l'est pas , il paroît que pour éviter toute équivoque , on devroit s'accorder à donner toujours ce nom dans la première varangue à une partie égale à la moitié ou à quelqu'autre portion constante du maître bau ; ce qui n'empêcheroit pas qu'on ne lui donnât différentes figures en élevant plus ou moins ses deux extrémités , ou en rendant son *acculement* plus ou moins grand.

De la
quantité de
l'accule-
ment.

On le fait , cet acculement , pour l'ordinaire de la vingt-quatrième partie du plat dans les Vaisseaux du premier rang ; de la dix-huitième dans ceux des trois rangs suivans ; & de la douzième dans ceux du cinquième , c'est-à-dire , que EF ou HI (Fig. 2.) est la moitié AB , & que FI ou EH est la vingt-quatrième partie , ou la dix-huitième , ou la douzième de EF : desorte que les plus grands Vaisseaux sont réellement un peu plus plats par dessous.

Il faut remarquer que ces rapports ne sont pas toujours énoncés d'une manière si simple dans les maximes des Constructeurs : car au lieu de dire , par exemple , que l'ac-

culément est une certaine partie du plat de la varangue, ils disent souvent que c'est une telle partie de la quantité dont le Navire enfonce plus dans l'eau par l'arrière que par l'avant : comme s'ils voyoient la moindre relation entre cet excès & l'acculement qu'on donne aux varangues dans l'endroit le plus gros du Vaisseau.

Quoiqu'il en soit, nous sommes très-persuadés qu'il est souvent nécessaire de faire varier l'acculement. Les Navires qui sont destinés à naviger dans les mers peu profondes, doivent être, ainsi que nous l'avons déjà dit, beaucoup plus plats par dessous. De-là naît cette différence qu'on voit entre la carène de nos Vaisseaux, & celle des Navires qu'on construit en Hollande, en Suede & en Danemarck. Le plat étant le même ; ces Nations rendront souvent l'acculement nul, au risque de préjudicier à la promptitude du sillage, comme on l'expérimente presque toujours : au lieu que c'est tout le contraire chez les Nations dont les Ports sont assez profonds pour n'assecher jamais ; on y donne beaucoup plus de *façons* aux Vaisseaux ; on rend leur carène si fine qu'ils ne peuvent pas se soutenir à sec sans verser. Cet accident est ordinaire aux Navires Anglois, & il arriveroit peut-être aussi aux Navires qui sont destinés à ne naviger que dans la mer Méditerranée. L'usage seul avoit déjà établi cette différence dès le tems des Romains, comme nous l'apprend César dans ses Commentaires, en parlant de la revolte des habitans de Vanes.*

On retrecit toujours les Navires par en haut ; c'est ce qu'on nomme leur *rentrée*. Elle est ordinairement de chaque côté d'une dixième partie du bau. Desorte que si le Vaisseau a 40 pieds de plus grande largeur AB (Fig. 2) il n'y aura que 32 pieds depuis S jusqu'en T ; parce que la *rentrée* fera de 4 pieds de chaque côté. On allegue plusieurs raisons de cet usage. On se propose de ramasser plus vers le milieu toute la pesanteur du Navire ; on a voulu peut-être aussi rendre l'abordage plus difficile, & se trouver encore à quelque distance de l'ennemi, lorsque les

* Liv. 3 :
guerres des
Gaules.

*Rentrée des
Vaisseaux.
& sa quan-
tité.*

deux Vaisseaux se touchoient. Enfin il paroît que les vagues qui viennent choquer le flanc du Navire , glissent avec plus de facilité en montant , & font moins d'impression , lorsqu'elles rencontrent une surface inclinée en dedans. Tous ces motifs pris ensemble peuvent être de quelque considération : cependant il seroit à propos que le Navire ne commençât toujours à se retrecir qu'au-dessus de l'endroit jusqu'auquel il s'incline dans les routes obliques , lorsque le vent le charge avec plus de force. Il faut d'ailleurs qu'on retrecisse trop par en haut les petits Navires , ou qu'on ne retrecisse pas assez les grands ; puis qu'en donnant aux uns & aux autres la même rentrée à proportion de leur largeur , mais sur différentes hauteurs ; c'est réellement la même chose que si on retrecissoit moins les grands , & leurs flancs sont beaucoup moins inclinés que ceux des petits.

De la longueur de la lisse d'hourdy & de celle du couronnement.

Le creux & sa quantité.

La lisse d'hourdy ST (Fig. 1.) se fait ordinairement des $\frac{2}{3}$ du bau ; & on donne pour largeur au couronnement ou à la partie qui termine la poupe par en haut , la moitié du bau.

La profondeur des Vaisseaux ou *le creux* pour parler comme les Marins , se mesure depuis le dessous Δ du bau (Fig. 1.) ou D (Fig. 2.) jusqu'au-dessus de la quille , & se fait le plus souvent des neuf vingtièmes du bau , ou d'une dixième partie moindre que sa moitié & quelquefois d'une douzième. D'autres Constructeurs font cette profondeur exactement égale à la moitié du bau ou de la largeur ; & cela , afin de rendre plus élevée au-dessus de la surface de l'eau , la première batterie , & de l'empêcher d'être noyée. Cette dernière règle ne doit pas encore être suivie par tout ; & les Hollandois principalement se trouveroient mal de son observation. La plupart de leurs Constructeurs , par une suite de cet abus que nous venons de condamner , au lieu de faire dépendre *le creux* immédiatement de la largeur , le font dépendre de la longueur du Navire , en l'entendant la dixième partie. *Le creux* se trouve de cette sorte d'environ les deux cinquièmes du bau , & en général on

le diminue, lorsqu'on rend le fond de la carène plus plat. Quelquefois il n'est que les $\frac{1}{3}$ du bau ou que les $\frac{1}{4}$ de sa moitié.

La hauteur du premier pont vers le milieu du Navire, se trouve fixée par le creux que nous venons de déterminer : mais le pont s'élève ensuite vers l'avant & vers l'arrière. Vers l'avant il ne s'élève que de quelques pouces dans les Vaisseaux même du premier rang, au lieu que vers l'arrière sa hauteur, au-dessus de la quille, est souvent plus grande d'une sixième partie.

Plusieurs autres choses sont réglées immédiatement sur la largeur du Navire, qui ne le devroient pas être. Il est clair, par exemple, que le creux ΔG (Fig. 1.) étant quelquefois plus ou moins grand, quoique les autres dimensions soient les mêmes, les hauteurs $K\phi$, & OA des *De la hauteur des façons.* façons de l'avant & de l'arrière, devroient être différentes. Cependant on donne presque toujours pour règle, de faire la première de ces hauteurs les $\frac{2}{10}$ de la longueur du bau, & la seconde, la moitié ou le tiers de celle-ci. D'autres Constructeurs veulent qu'on fasse la hauteur AO des façons de l'arrière égale à la moitié de celle de l'étambot AG ; & ils ne pensent pas que cette pièce de bois peut avoir plus ou moins de hauteur, sans que cela préjudicie le moins du monde aux qualités du Navire. Personne enfin ne s'est encore avisé de dire que la hauteur des façons de l'arrière doit être environ les $\frac{2}{3}$ du creux, & celle des façons de l'avant d'environ un tiers. Il faut se souvenir que dans le langage des Constructeurs, toutes les hauteurs dont ils parlent, se mesurent toujours de dessus la surface supérieure de la quille.

Le *tirant d'eau* ou la quantité dont le Navire doit enfoncer dans la mer, devroit encore être réglé sur le creux. On prétend presque toujours que de l'arrière, le *tirant d'eau* *Du tirant d'eau.* doit être les $\frac{2}{10}$ de la longueur du bau, & de l'avant seulement des $\frac{1}{3}$: desorte qu'on veut que le Navire enfonce plus dans la mer de l'arrière que de l'avant de $\frac{1}{4}$ de la longueur de son bau ; ce qui revient à peu près à une sixième partie du creux.

Pour prendre une notion plus distincte du *tirant d'eau* ; il n'y a qu'à le considérer dans l'endroit le plus gros du Navire. Il est à propos que *le fort* ou l'endroit le plus large ne soit pas dans l'eau , mais qu'il soit élevé d'une quantité considérable au-dessus. On se fait sur cela différentes règles , que l'avarice des Négocians ou même des Marins , ne respecte pas toujours assez , en rendant le péril presque évident par la grandeur de la charge. Quelques uns prétendent que *le fort* doit être élevé au-dessus de la *flotaison* , ou au-dessus de l'eau d'un pied ou d'un pied & demi ; mais cette règle ne doit pas convenir à tous les Navires , aux grands & aux petits : il vaut donc mieux faire en sorte que cet endroit soit toujours élevé au-dessus de la mer ou de la flotaison d'une partie proportionnelle , comme de la huitième ou neuvième partie du *creux* ΔG (Fig. 1.) Ainsi le *tirant d'eau* , ou la quantité dont le Navire plonge dans la mer par son endroit le plus gros , sera seulement des $\frac{7}{8}$ ou des $\frac{8}{9}$ du *creux* , augmentés de plus de l'épaisseur de la quille qui est encore au-dessous.

De la hauteur des entre-ponts.

Certaines autres dimensions , qui n'ont pas un rapport absolu avec la grandeur des Navires , doivent être à peu près les mêmes dans tous. La hauteur des étages ou des *entre-ponts* doit , par exemple , se régler sur la hauteur ordinaire des hommes. On fait ces étages de 5 pieds 7 pouces au-dessous même des baux dans les plus grands Vaisseaux , & de 5 pieds 5 pouces dans les Frégates. C'est ce qui est nécessaire dans les Navires faits pour la guerre , qui tirent leur plus grande force de leurs batteries basses : au lieu que dans les Navires Marchands , l'entre-pont ne servant qu'à loger la partie de l'équipage qui se repose , n'a pas quelquefois trois pieds de hauteur.

La grandeur des Navires ne doit faire encore que peu changer les intervalles entre les canons ou les sabords : on observe au moins de ne les guère diminuer dans les Vaisseaux du Roy , quoique ce ne soit pas la même chose dans les Navires Marchands. A l'égard de la largeur des sabords , on la règle sur la grosseur des canons. Pour les plus
gros

gros on fait cette largeur d'environ trois pieds & pour les plus petits d'environ 2 pieds.

Je ne crois pas enfin devoir entrer dans l'explication de plusieurs autres parties qu'on peut abandonner entièrement à la conduite de l'ouvrier. Comme je n'entreprends de parler de la construction des Vaisseaux que comme Mathématicien ou Physicien, je n'insiste pas sur diverses choses dont les dimensions ne sont point sujettes aux loix rigoureuses de la Mécanique; mais je ne puis pas me dispenser de dire qu'on nomme *bordages* les planches dont on *Bordages.* couvre toute la carène, auxquelles on donne 4 pouces ou $4\frac{1}{2}$ pouces d'épaisseur dans les plus grands Vaisseaux; de même qu'à celles qui forment le premier pont ou le pont le plus bas. On se sert du nom de *franc-bord* pour marquer plus particulièrement l'assemblage de tous ces bordages qui couvrent l'extérieur du Navire: car quelquefois on applique dessus, depuis la quille jusques vers la flotaïson, d'autres bordages beaucoup moins épais, seulement pour garantir les premiers de la piqueure des vers qui se trouvent dans différentes Mers, & ce second revetissement se nomme *doublage*. On a une attention en *bordant* ou en *doublant*, ou lors qu'on applique les bordages, qui est trop particuliere pour qu'elle doive être oubliée. On sçait combien il est difficile à tous les ouvriers en bois, si on excepte les seuls Tonneliers, de faire des vases de plusieurs pieces, qui ne donnent aucune issue à l'eau: les Menpisiens les plus adroits, pour l'ordinaire n'y sçauroient réussir. Mais nos Charpentiers de Navires, aidés par les *calfats*, n'y trouvent aucune difficulté. Au lieu de mettre les bordages si près les uns des autres qu'ils se touchent, ils laissent toujours entr'eux un intervalle considérable & assez grand pour recevoir l'étope qu'on y introduit en quantité & avec force, avec une espece de ciseau fait exprès; & on ne fait plus ensuite que couvrir le tout d'un enduit chaud composé de suif & de godron.

Pour ne pas obmettre l'explication de quelques autres parties encore assez essentielles, nous ajouterons qu'on

La contre-
quille.

La carlin-
gue.

Les vegres
ou ferres.

Les gon-
tieres &
ferres-bau-
quieres.

Les illoi-
res.

Les écou-
tilles.

Guirlan-
des.

Contre-
étrave.

Contra-
étambot.

Montans
d'écussons.

Les faux
baux.

Les estaca-
des.

fortifie la quille par une autre piece de bois qu'on nomme la *contre-quille*, & qu'on presse les varangues dessus par plusieurs longues pieces, qui couchées dans le même sens que la quille, forment la *carlingue*, au-dessus de laquelle on met encore en travers les *perques* qui sont d'autres especes de varangues, qui ont aussi leurs genoux & leurs allonges. On rend l'assemblage du tout encore plus fort, en mettant d'autres bordages au Vaisseau par le dedans, qui prennent le nom de *vegres* ou de *ferres*. Les baux sont attachés aux membres par le moyen des *courbes*, dont j'ai déjà parlé; mais outre cela leurs extrémités se trouvent resserées entre des especes de bordages beaucoup plus épais, les *goutieres* & *ferres-bauquieres* dans lesquelles ils s'endentent. Les baux sont encore liés les uns aux autres par les *illoires* qui s'étendent le long des ponts depuis l'avant jusqu'à l'arriere, & qui passent par le bord des *écoutilles* ou de ces grandes ouvertures quarrées qu'on fait dans les ponts pour pouvoir descendre dans le fond du Navire ou dans la *cale*. C'est principalement l'avant & l'arriere qui ont besoin d'être fortifiés. Outre le grand nombre d'allonges d'écubier qui en se touchant soutiennent la prouë contre le choc de l'eau, on place derriere des pieces horisontales qu'on nomme *guirlandes*, & on met derriere l'étrave une autre piece de bois qu'on nomme la *contre-étrave*. L'é-tambot a aussi son *contre-étambot*, mais qui est en dehors; & toute l'arcaste est soutenue, non seulement par les barres ou lisses dont j'ai déjà parlé, mais aussi par d'autres pieces, les *montans d'écusson* qu'on place à peu près verticalement. Au-dessous des baux qui soutiennent les ponts & qu'on met ordinairement à trois pieds de distance les uns des autres, on en met encore souvent d'autres dans la cale, qui n'ont d'autre usage que de lier davantage le Navire, & ce sont les *faux baux*. Dans les Vaisseaux de guerre aux environs de la *flotaison* en dessus & en dessous de la surface de l'eau, on insere aussi entre les membres d'autres allonges qu'on nomme *estacades*, de maniere qu'il ne reste aucun vuide. Il est vrai qu'on ne se propose par ces

dernieres pieces , que de rendre la carène assez forte pour qu'elle soit à l'épreuve du canon. Mais enfin on prend à tâche de faire entrer tant de bois & une si prodigieuse quantité de fer dans la construction des Vaisseaux , qu'on ne peut pas s'empêcher de reconnoître que toutes nos entreprises sont bien foibles ; puis qu'aussitôt que par les suites d'une mauvaise navigation , on va rencontrer quelque écueil ou qu'on se trouve seulement engagé entre des rochers ; il ne faut qu'un seul instant , deux ou trois minutes , pour briser en mille pieces cet ouvrage fait avec tant de soin , & rendu , ce semble , si solide.

CHAPITRE IV.

Des différentes pratiques que suivent les Constructeurs pour tracer la coupe des Vaisseaux , faite perpendiculairement à leur longueur dans l'endroit le plus gros.

DE tout tems les Constructeurs se sont faits quelque règle pour tracer la coupe du Vaisseau , faite perpendiculairement à sa longueur dans l'endroit le plus gros ; c'est-à-dire , pour tracer la maîtresse couple , la maîtresse varangue ou le premier gabari. Le nom de coupe dans la construction est appliqué particulièrement à celles qui se font perpendiculairement à la longueur du Navire , & la premiere c'est la plus grande de toutes , c'est celle qui indique la figure du maître gabari ou de la maîtresse couple. On l'a presque toujours formé de portions de cercles ; mais avec plus ou moins d'adresse : car ne faisant pas toujours attention que pour que deux arcs de cercle se touchent sans se couper , il faut que leurs centres soient sur la ligne droite qui passe par leur point d'attouchement , on a souvent donné , sans aucune nécessité , des angles sensibles au contour de la premiere coupe , ou du premier

D ij

gabari ; au lieu de l'arrondir insensiblement par tout. C'est ce qui rend préférable l'opération qu'a enseigné le P. Fournier il y a plus d'un siècle, à plusieurs autres pratiques qu'on a proposées depuis.

P R E M I E R E M E T H O D E .

Fig. 3. Le P. Fournier après avoir tiré la droite AB (Fig. 3.) qui représente la longueur du *maître bau*, décrit un cercle RANB qui a cette ligne pour diamètre, & élève au milieu de cette même ligne une perpendiculaire CD égale au creux ou à la profondeur qu'on veut donner au Vaisseau, laquelle, comme nous l'avons déjà dit, se prend toujours de dessous le bau à la surface supérieure de la quille, qui est le terme de toutes les hauteurs, en fait d'Architecture Navale. Par le point D, il tire une ligne GH parallèle à AB, & faisant DG & DH égales chacune au demi plat de la varangue, égales, si on le veut, au quart de la largeur du tout, il fait les petites perpendiculaires ou verticales GE & HF chacune égale à l'acculement. Ces petites perpendiculaires seront égales à la vingt-quatrième, ou à la dix-huitième, ou à la douzième partie de GH, &c. Après cela il cherche sur GE prolongée en haut & en bas, jusqu'en K & jusqu'en S, le point M qu'il faut prendre pour centre d'un arc de cercle NE qui touche en quelque point N le premier cercle, & en E la ligne droite EF. Enfin d'un point S pris pour centre, il décrit l'arc EO qui touchant la ligne droite EF, ou l'arc NE en E, vient se rendre exactement en O au bord de la quille. Il a de cette sorte ANEO pour le demi-contour de la coupe, & il fait la même chose pour l'autre côté.

Il est vrai que ce bon Pere ne cherche les centres M & S que par le tâtonnement ; mais rien n'empêche de les déterminer d'une manière sûre & infaillible. Si on fait EK égale au rayon CA du premier cercle, ou égale au demi-bau, & qu'après avoir joint les points K & C par la droite CK on lui élève dans son milieu L la perpendiculaire LM, cette perpendiculaire indiquera sur EK par son intersec-

tion, le centre M de l'arc NE. Car MC étant égale à MK, & EK ayant été faite égale à AC ou à NC, il est évident que MN sera égale à ME, & par conséquent l'arc de cercle décrit du point M comme centre & qui passera par le point E, viendra toucher le premier cercle en N. A l'égard de l'autre centre S, il sera tout aussi facile de le déterminer. Il n'y a qu'à tirer la droite EO, & lui élever en son milieu une perpendiculaire; cette perpendiculaire rencontrera IG prolongée en bas dans le point S, qui doit servir de centre à l'arc EO. Je laisse à part la méthode dont le même Auteur veut qu'on forme les allonges AQR, quoi qu'il ne paroisse qu'il n'y auroit souvent aucun inconvénient à s'en servir. Il décrit AQ, en prenant le point I pour centre, & il donne à QR un rayon de même longueur.

SECONDE METHODE.

De notre tems plusieurs Constructeurs tracent encore comme le P. Fournier, un cercle ANFB (Fig. 4.) qui a la longueur entiere AB du bau pour diamètre. Mais après avoir formé un rectangle ABIL, qui a pour largeur la longueur du bau, & pour hauteur le creux ou la profondeur CD qu'il s'agit de donner au Vaisseau, ils cherchent sur la diagonale LC le centre M de l'arc de cercle NY, qui touchant le premier cercle en N, passe par l'extrémité E du plat de la varangue dont DG n'est que la moitié & GE l'acculement. Pour trouver le centre M, ils n'ont qu'à tirer une droite NE & lui élever en son milieu une perpendiculaire qui viendra indiquer par son intersection avec la diagonale le centre requis M. Ils prolongent l'arc NE jusqu'au point Y qui est dans la même verticale MY que le centre M; & tirant en Y une horisontale YP ou une parallele à AC ou LD, cette ligne est tangente à l'arc NY, & il ne faut plus que décrire un autre arc PO, qui ayant son rayon égal à MN ou à MY, touche la droite YP, & vienne se rendre au bord O de la quille, dont OD est la demie largeur. Pour trouver géométriquement le centre X,

Fig. 5. de façon que MV soit deux fois plus grande , ou que YV soit égale à MY : on tirera par le point V la ligne horifontale VX , & si du point O comme centre & de l'intervale OX égal à YV pour rayon , on décrit un petit arc de cercle X , il coupera la ligne VX dans le point X qui doit servir de centre à l'arc requis. Ainsi la courbure $ANYPO$ de la premiere coupe du Vaisseau , se trouve formée selon cette méthode , de deux arcs de cercle AN & NY , d'une petite portion de droite YP & d'un dernier arc PO ; & l'autre côté se fera de la même maniere , comme il est évident.

Il ne restera plus qu'à tracer la partie AR qui est l'allonge de revers. On la forme ordinairement de deux arcs égaux AQ & QR qui se touchent en Q & qui y font comme un point d'inflexion , parce que les deux arcs tournent leur convexité de différens côtés. Il n'y a pour cela qu'à tirer la droite AR , & si au milieu des deux portions AQ & QR , on leur élève des perpendiculaires , elles viendront rencontrer AB & l'horifontale RZ dans les points T & Z qui seront les centres des arcs AQ & RQ . Il arrive souvent dans les plus grands Vaisseaux que l'allonge AR est quadruple de la rentrée SR ; & dans ce cas particulier les rayons QT & QZ sont égaux à la longueur même AR de l'allonge.

Il faut remarquer que presque toutes ces pratiques ont besoin de quelque modification , selon les diverses applications qu'on en veut faire. On voit , par exemple , qu'il faut dans la seconde que le creux du Navire soit considérablement moindre que la moitié de la plus grande largeur , ou qu'il faut que l'acculement GE soit assez grand pour que le point E se trouve au dedans du premier cercle $ANKB$. Car sans cela il faudroit rendre l'arc NE , qui représente le genoux de fond , concave en dehors dans la maîtresse couple même ; ce qui seroit certainement contraire à l'intention des Constructeurs.

TROISIÈME MÉTHODE

Pour les Navires à plates varangues.

Les deux méthodes précédentes & celles qu'on peut imaginer aisément sur le même modèle , peuvent être employées dans les Vaisseaux qui tiennent le milieu entre les Frégates & les Bâtiments de transport. Tels sont les Vaisseaux de Ligne , qui à cause du poids de leur nombreuse artillerie tiennent un peu des Bâtiments de charge , & qu'on tâche néanmoins de faire ressembler le plus qu'on peut aux Frégates par la carène , afin de leur en concilier la légèreté & la promptitude de la marche. On a aussi d'autres pratiques pour les autres espèces de Navires. Dans les Bâtiments de transport on rend la carène plus grosse , & on diminue pour l'ordinaire leur creux , comme je crois l'avoir déjà dit , en ne le faisant que les quatre neuvièmes de la longueur du bau ou de la plus grande largeur de la coupe ; & pendant que le plat de la varangue est toujours la moitié de cette même largeur , l'acculement n'est qu'une vingt-quatrième partie de la moitié du plat ou une quatre-vingt-seizième de la longueur du bau.

Nous emprunterons la méthode que nous allons expliquer , qui sert pour ces sortes de Navires , d'un homme de Brest , dont on ne peut guères citer le nom * sans éloge , & qui eût pû mieux qu'un autre perfectionner l'Architecture Navale , si sa santé le lui eût permis. On en peut juger aisément par un recueil manuscrit qu'il a fait de la plupart des pratiques des Constructeurs , lequel se trouve entre les mains de plusieurs personnes dans la Marine. Il est vrai qu'il nous transmet ces pratiques précisément comme il les a reçues , sans même les corriger de ces sortes d'irregularités ou fautes sensibles que nous avons déjà fait remarquer plus d'une fois. Mais il examine avec succès les propriétés géométriques des lignes courbes qu'on s'est avisé de faire entrer jusqu'à présent dans la figure des Vaisseaux ; il détermine leurs tangentes , leurs points d'inflexion

* M. de
Pulmi.

xion, & autant que je m'en souviens, il en rectifie quelques unes. Malheureusement il ne va pas plus loin; & soit qu'il n'en ait pas senti la nécessité ou qu'il n'en ait pas eu le tems, ce qu'il y a plus lieu de croire, il s'est arrêté à cet examen abstrait des propriétés géométriques des diverses courbes, sans se tourner du côté de leurs propriétés Physiques ou Mécaniques, quoi qu'elles soient, comme il est évident, les seules qui fassent réellement au sujet.

Fig. 5. & 6. Il forme un rectangle ABIL (Fig. 5.) qui a toujours pour largeur la longueur du bau & pour hauteur le creux du Navire. Il détermine en E & en F les extrémités du plat de la varangue dont GE & HF font l'acculement, & il forme ensuite un quarré (Fig. 6.) qui a ses côtés égaux à LG ou à KE, & il inscrit au-dedans deux quarts de cercle AQE & AXE. Il divise après cela l'arc AXE de l'un, en un certain nombre de parties égales AV, VX, XY, YZ, &c. & abaissant des points de divisions des perpendiculaires VO, XN, &c. sur le rayon AK; il divise dans le même nombre de parties égales entr'elles le creux AK du Vaisseau (Fig. 5.) diminué de l'acculement de la maîtresse varangue, & transportant vis-à-vis des derniers points de divisions O, N, &c. les parties OS, NR, MQ, &c. interceptées dans la figure 6 entre le rayon AK & l'arc de cercle AQE, il ne lui reste plus qu'à faire passer la courbe AR par les extrémités de toutes les perpendiculaires ou ordonnées OS, NR, &c. & il a le demi-contour de la première coupe. Il est vrai qu'il faut encore achever ED; mais on peut le faire avec un simple arc de cercle qui touchant la première courbe en E, viendra se joindre au bord de la quille vers D; & il n'y aura qu'à faire précisément la même chose pour l'autre côté.

Q U A T R I E' M E M E T H O D E

Pour les Navires auxquels on veut donner beaucoup de façons.

Quoi qu'on puisse par les seuls moyens que nous venons d'exposer, en y changeant seulement quelque chose, former

mer le premier gabari des Vaisseaux auxquels on veut donner beaucoup de façons, ou dont on veut rendre la carène très-fine; nous indiquerons une méthode particulière pour cela. Ayant formé, comme à l'ordinaire, le rectangle ABIL (Fig. 7.) destiné à renfermer toute la partie de la coupe qui est au-dessous du maître bau AB; il n'y a qu'à faire l'acculement GE ou HF de la maîtresse varangue égal à la cinquième ou à la sixième partie de son plat GH, ou égal à la dixième ou douzième partie de la longueur entière AB du bau. C'est là le plus grand acculement que les Constructeurs soient sujets à donner aux Vaisseaux; au lieu que, comme nous en avons déjà averti, ils le diminuent quelquefois jusqu'à le détruire entièrement. Les points E & F étant déterminés, il ne reste plus qu'à tracer deux portions de paraboles AE & BF, dont les sommets soient en A & en B & qui aient AC & BC pour axe; & à l'égard du plat même de la varangue, on le formera par deux arcs de cercles, dont l'un tournera sa convexité en bas & l'autre en haut.

La parabole est une courbe employée souvent dans l'Architecture Navale; on l'y trace pour l'ordinaire par le moyen d'une ligne droite, divisée, selon une suite de termes, en progression arithmétique. D'autres Constructeurs se contentent de déterminer deux ou trois points par des nombres qu'ils savent par cœur, & achevent ensuite la courbe comme ils peuvent: de sorte qu'on n'emploie presque jamais la méthode qui seroit la plus naturelle dans la circonstance présente. La manière dont il nous faudra traiter souvent ce sujet dans la suite, ne nous dispenseroit que trop de rapporter ici cette méthode; mais on le fera néanmoins en vue d'une plus grande utilité. Il s'agit de faire passer une parabole AQE par le point donné E, qui ait son sommet en A & la droite AC pour axe. Ayant abaissé du point E les perpendiculaires EK & EM sur AL & sur AC, je mets sur AC, prolongé indéfiniment vers N, le centre d'un demi-cercle MKN qui passe par les points K & M, & la ligne AN sera le paramètre de la parabole, lequel ser-

E

Fig. 7. virà à trouver les autres points de cette courbe, & en aussi grand nombre qu'on voudra. Est-il question de sçavoir par quel point doit passer cette courbe exactement au-dessous du point P ou par la ligne verticale PQ ? On cherchera sur AN le centre du demi-cercle NOP, qui partant toujours du point N, vient se rendre au point P. Ce demi-cercle rencontrera AL en O, & AO marquera la quantité dont la courbe passera au-dessous du point P ; de sorte que si on tire l'horizontale OQ, le point Q où elle coupera la verticale PQ, appartiendra à la parabole. On trouvera de la même manière une infinité d'autres points.

Afin que le premier arc de cercle dont on formera le plat de la varangue, ne fasse point d'angle en E avec la parabole, & ne fasse que la toucher, il faudra que son centre soit situé en quelque point S de la perpendiculaire ER à la parabole. Pour tirer cette perpendiculaire, il n'y aura qu'à faire, comme le sçavent tous les Géomètres, la soûnormale MR égale à la moitié du paramètre AN.

CH A P I T R E V.

Méthode de tracer les deux coupes du Vaisseau aux deux extrémités de la quille, avec la manière ancienne dont on se servoit des lisses pour achever le Navire.

I.

De la coupe de l'arrière.

Fig. 8. COMME la forme de la poupe ou de l'arrière contribue moins aux bonnes ou mauvaises qualités du Vaisseau, il importe moins comment on en trace la dernière coupe. Dans la figure 8 l'étambot est représenté par CD ; & la lisse d'hourdy par AB qui est placée dans l'endroit le plus large de l'arrière & ordinairement à l'extrémité de l'étambot. La hauteur de cette dernière pièce dépend de

diverses considérations qui sont purement de convenance; mais il est certain que la hauteur à laquelle on place la lisse d'hourdy, au lieu d'être réglée sur la longueur de la quille ou sur celle du bau, ne le devrait toujours être que sur le creux ou sur la profondeur qu'on veut donner au Navire, dont elle dépend immédiatement. L'endroit le plus large ou le fort du Navire vers l'arrière, est toujours beaucoup plus haut que vers le milieu ou que dans le premier gabari; il l'est presque d'une moitié plus, & au moins d'un tiers. Ces deux hauteurs sont dans presque tous les Vaisseaux comme 10 est à 14 ou à 15. Ainsi on peut remarquer en passant, que le premier pont qui répond à l'endroit le plus large, ou au fort, vis-à-vis de la *maîtresse couple*, ne s'élève pas encore assez vers la poupe pour se trouver aussi haut que les endroits les plus larges. *

Fig. 1.

Cela supposé, des deux points F & G qui sont au milieu des deux moitiés AC & BC de la lisse d'hourdy, on décrit comme centre deux arcs de cercle AH & BI par les extrémités A & B. Du point E où se terminent les façons de l'arrière, qui ont pour l'ordinaire de hauteur DE les $\frac{2}{3}$ du creux du Navire, on tire ensuite les deux lignes droites EH & EI, tangentes à ces deux arcs; & il n'y a plus qu'à prendre des deux côtés de l'étrambot deux points L & N un peu au-dessous de E & faire disparaître les angles en E par deux petits arcs qui touchant les deux tangentes, viennent se rendre à ces deux points. Alors tout le gabari de l'arrière sera tracé au-dessous de la lisse d'hourdy: son contour sera AHKLNMB.

* Voyez ce que nous disons de la hauteur du pont dans le Chap. 3.

La partie supérieure AQOPRB aura plus ou moins de hauteur, selon le nombre d'étages que doit avoir la poupe; mais les Constructeurs sont presque toujours la largeur OP égale aux trois quarts de la longueur de la lisse AB; puisque pendant que cette lisse est les $\frac{2}{3}$ du bau, le couronnement OP en est presque toujours la moitié. On tire deux lignes droites AO & BP qu'on divise chacune en trois parties, & la première ou celle d'en bas AQ d'un côté & BR de l'autre, servent de cordes aux deux

Eij

Fig. 8. arcs AQ & BR qui tournent leur convexité en dehors ; pendant que le haut est formé de deux autres arcs QO & RP qui tournent leur convexité en dedans & qu'on décrit presque toujours avec un rayon deux fois plus grand. Le tout forme le dernier gabari de l'arrière qu'on nomme, comme je l'ai dit, les estains ou les cornières. Dans tout ceci les Constructeurs se permettent divers changemens pour procurer un plus grand ornement à leur ouvrage, mais que les Géomètres ne se refoudroient, sans doute, qu'avec peine à prendre pour objet de leurs examens.

I I.

De la figure de la coupe de l'avant.

On peut former à peu près de la même manière le gabari qui se place en avant à l'extrémité de la quille. On suit pour le tracer différentes pratiques, que nous ne nous arrêterons pas à spécifier scrupuleusement : nous nous contenterons en les changeant en d'autres plus naturelles, de rendre précisément les mêmes figures. L'endroit du fort ou de la plus grande largeur de chaque gabari en avant, se place aussi de plus haut en plus haut dans les gabaris qui sont plus vers la prouë ; mais le changement ne se fait pas par de si grands degrés que vers l'arrière. La hauteur DC (Fig. 9.) de la plus grande largeur de la coupe faite à l'extrémité de la quille du côté de la prouë, ne surpasse le creux ou la profondeur prise dans le plan du premier gabari, tout au plus que d'une septième partie, & souvent de deux fois moins. La plus grande largeur AB de cette même coupe est dans les Frégates & dans les Vaisseaux d'une cinquième ou d'une sixième partie moindre que le maître bau ou que la largeur de la première coupe, & seulement moindre d'une huitième partie dans les Bâtimens de charge.

Toutes ces choses étant réglées, on prendra pour centre de l'arc AH le point F, qui est au milieu de AC, ou un point plus voisin de A, & qui ne soit qu'au tiers de AC si on veut diminuer le renflement de la prouë. Du point E qu'on fera

monter aussi plus ou moins le long de DC, jusqu'à le faire parvenir au quart de cette hauteur, on tirera la tangente EH à l'arc déjà décrit, & il ne restera plus qu'à décrire avec un rayon égal à DC un autre arc KL qui touche la tangente en K & qui vienne se terminer en L au côté de la quille. Pour trouver le centre de ce dernier arc, on tirera une parallèle ST à la tangente EH qui en soit éloignée d'une distance égale à CD, mais qu'on pourroit aussi sans inconvénient rendre plus grande ou plus petit, & décrivant du point L comme centre, & avec le même intervalle, un petit arc de cercle Y, cet arc coupera la ligne ST dans le point Y qui sera le centre de l'arc requis KL. On fera la même chose pour l'autre côté & on aura de cette sorte le contour entier AKLNMB du gabari de l'extrémité de la quille du côté de l'avant. Les allonges de revers & BRP se formeront par deux arcs de cercle, comme dans le premier gabari; avec cette seule différence, qu'on leur donnera un peu moins de *rentrée*; & qu'il faudra aussi les rendre plus longues à cause de la hauteur qu'ajoute au Navire le gaillard ou le château d'avant.

Fig. 92

I I I.

Avec le peu de règles que nous venons de donner, & souvent avec beaucoup moins, les Constructeurs ont bâti pendant long-tems leurs Vaisseaux; & il y en a encore quelques-uns qui ne croient pas avoir besoin de plus grands secours. En Hollande les maximes qu'on y observe presque toujours ne déterminent pas davantage la figure du Navire: c'est à l'Ouvrier à conduire presque tout son ouvrage à l'œil. La même chose arrive en Espagne où il fut ordonné en 1721 de se conformer à des règles qui ne différaient que peu des précédentes, si ce n'est qu'elles laissent la figure de la carène encore plus indécise; & ne donnent pas plus lieu de construire de bons Navires que d'en construire de très-mauvais, malgré les succès heureux qu'on leur a attribué. * Les trois principaux gabaris étant formés & les couples achevés, on les place dans les endroits de la

* *Propor-
ciones de
las medidas
mas essen-
ciales da-
das por el
Theniente
general de
la Armada
real del
Mar oceano
Don An-
tonio de
Gastañeta
de orden
del Rey pa-
ra la Fabri-
ca de Na-
vios y Fre-
gatas de
guerra,
&c.*

quille où elles doivent être , c'est-à-dire , la maîtresse couple aux cinq douzièmes de la quille à commencer de l'avant , ou dans quelque autre point conformément à l'usage dominant , & les deux autres aux deux extrémités. On ne fait plus ensuite que tendre de longues tringles ou regles de bois flexibles d'une couple à l'autre , & on apprend par les contours qu'elles prennent les dimensions ou les diverses largeurs qu'il faut donner aux couples intermediaires. Ces longues tringles larges de 2 ou 3 pouces , dont on se sert encore continuellement , se nomment *lisses* , qu'il faut bien distinguer de ces grosses poutres de même nom , dont on fortifie la poupe & qu'on met perpendiculairement à l'étrambot. La premiere des lisses dont il s'agit actuellement , se nomme la *lisse des façons* ; elle part de la hauteur des façons sur l'étrambot , elle passe par l'extrémité du plat de la premiere varangue & vient se rendre sur l'étrave à la hauteur des façons. On entend assez qu'il y a deux de ces lisses ; l'une d'un côté du Navire , & l'autre de l'autre : nous n'en avons représenté qu'une dans la figure premiere pour éviter la confusion ; c'est ONMLK. Deux autres lisses passent par les endroits les plus larges de toutes les coupes & se nomment les *lisses au gros* ou du fort , nous n'en avons encore ici marqué qu'une TXH. Deux autres lisses passent par les points d'inflexion de toutes les allonges de revers que nous n'avons point représentées , non plus que les *deux lisses moyennes* qu'il y a de chaque côté entre la plus basse ou la lisse des façons ONMLK & la lisse du fort THX. Pour placer ces *lisses moyennes* , on divise en trois parties égales sur les estains , sur la maîtresse couple & sur l'étrave les intervalles qu'il y a entre les deux premieres lisses déjà placées , & on fait passer d'une extrémité du Vaisseau à l'autre les deux dernieres lisses par les points de division.

Il est vrai que comme les anciens Constructeurs n'avoient que quatre points ou seulement trois pour situer chaque lisse , ils pouvoient en les tendant plus ou moins , leur donner diverse convexité ; mais leur grande attention

Étoit d'empêcher qu'elles formassent des angles dans leur courbure , ou de faire qu'elles se trouvassent pliées par tout insensiblement. Toute la figure du Vaisseau se trouvoit indiquée de cette sorte , & il étoit facile de voir ensuite comment il falloit former toutes les coupes qui devoient être placées en avant & en arriere du premier gabari. Quelque bien conduit que fût l'ouvrage , il falloit souvent y retoucher un peu ; enlever du bois d'un membre pour diminuer sa convexité , & quelquefois y appliquer des especes de coins pour en augmenter le renflement. Cependant le Vaisseau qui dans ces derniers tems a été regardé comme un chef d'œuvre dans son genre & qu'il seroit à souhaiter qu'on eût depuis pris pour modèle dans la construction des Vaisseaux du premier rang , le *Royal Louis* * qu'on a été obligé de défaire de notre tems à Brest , à cause de sa caducité , n'avoit été bâti que de cette maniere , ce semble , si hazardée. Il est triste que les Constructeurs ne puissent pas travailler pour la posterité , comme les Architectes ou les Sculpteurs. Tout ce qu'on pourroit faire de plus , lorsqu'ils ont réussi parfaitement , ce seroit de perpetuer leurs Vaisseaux en les remplaçant par d'autres construits précisément sur les mêmes gabaris , & qu'on regardât toujours , comme l'ouvrage du premier Maître. Il eût encore été plus utile que juste de rendre cet honneur à l'habile ouvrier du Royal Louis.

* Vaisseau construit à Toulon en 1692 , par François Coulon.

Cette méthode toute imparfaite qu'elle étoit de construire les Vaisseaux , valoit incomparablement mieux que celle qu'on a voulu lui substituer dans la suite. * On prétendoit suivre une opération particuliere pour trouver la figure de chaque couple intermediaire , & on en devoit mettre d'abord un certain nombre limité , sur lesquelles les autres seroient réglées. On avoit une méthode pour tracer la premiere , une méthode différente pour tracer la seconde , la troisiéme , &c. mais comme ces opérations étoient indépendantes les unes des autres , quoi qu'on tâchât de mettre entr'elles le plus d'affinité qu'il se pouvoit , il arrivoit toujours que l'assemblage de toutes les coupes

* Dans l'Architecture Navale de M. Daffié , & dans le *Resumen Nautico de lo que se practica en el Teatro Naval*, &c.

ne formoit point ensuite une surface régulière, & qu'il s'en falloit extrêmement que les courbures du Vaisseau fussent exemptes de faults, & conduites par des degrés réglés. Nous avons la principale obligation à M. le Chevalier Renau d'avoir remédié à cet inconvenient, en donnant le moyen de rendre tous les gabaris dépendans les uns des autres. M. le Maréchal de Tourville, aidé du P. Hoste dont nous avons un Livre sur la Théorie de la construction, y a aussi je crois contribué.

Si les lisses ont perdu de cette sorte une partie de l'ancien usage qu'elles avoient, elles ne l'ont pas perdu entièrement, & elles en ont acquis un autre, comme on le verra dans la suite & qui est même, si on le peut dire, plus noble. Elles servent toujours aux Constructeurs à reconnoître si les couples élevées sur la quille ne forment point les unes par rapport aux autres, quelques irregularités sensibles; & elles aident outre cela à situer les bordages dont elles marquent la direction. On les ôte à mesure qu'en bordant on parvient jusques à elles; de sorte qu'elles ne restent en place que pendant qu'on travaille à l'ouvrage.

C H A P I T R E V I.

Remarques générales sur les lisses, avec le moyen de former l'arrière du Vaisseau en rendant toutes les coupes verticales faites perpendiculairement à sa longueur dépendantes de la première & de celle de l'extrémité.

I.

ON projette pour l'ordinaire sur la première coupe ou sur le maître gabari non-seulement les deux coupes des deux extrémités du Vaisseau; mais aussi toutes les autres qui sont intermediaires. C'est ce que représente la figure 10, dans laquelle IGD_2G_2I est le premier gabari ou la

Fig. 10.

la coupe du Navire faite perpendiculairement à sa longueur dans l'endroit le plus gros. PmD est la moitié du gabari de l'avant ou de la coupe faite à l'extrémité de la quille du côté de la prouë, & XTR est la moitié du dernier gabari de l'arrière, ou le demi-contour de la poupe vûe d'une distance infinie dans le prolongement de la longueur du Vaisseau. On ne met ainsi que les moitiés de toutes les coupes du Navire, excepté de la première, ou de la plus grande qu'on trace entière; afin d'avoir toute la forme du Vaisseau dans une seule figure ou dans un seul plan; la partie de la prouë d'un côté & la partie de la poupe de l'autre. On voit aussi dans ce plan, non pas *les lisses*, mais leurs projections: $EK\Delta$ marque la projection de celle *des façons* du côté de l'avant & AnW la projection de la *lisse du fort*; HO des points d'inflexion & IP du *plat-bord*, c'est-à-dire, du haut du flanc du Navire. Du côté de la poupe; $2ER$ est la *lisse des façons*, & $2AV$ celle *du fort*. Il est évident que toutes ces lignes ne sont pas les lisses mêmes, mais leurs projections: car il faut remarquer que si elles vont d'un gabari à l'autre, si la lisse du fort, par exemple, du côté de la prouë va du point A au point n , ces deux points sont réellement dans des plans différens & éloignés l'un de l'autre des cinq douzièmes de la longueur de la quille. Ainsi supposé que la lisse fût une ligne droite au lieu d'être une ligne courbe, elle seroit l'hypothéneuse d'un triangle rectangle dont un côté seroit An , & l'autre la distance entre les deux coupes.

C'est ce qu'on verra encore mieux en jettant les yeux sur la Figure 11, qui représente toute la partie de la prouë depuis le maître gabari ou la première coupe AFD_2A_2 . La ligne D_1D_2 représente la partie de l'avant de la quille & DIv est l'étrave, qui est un arc de cercle d'environ 70 degrés, qui a son rayon égal à la hauteur même de l'étrave. On voit sur la première coupe la projection nmD_2 de la coupe NLD_1 , qui est à l'extrémité de la quille, & j'ai marqué aussi les projections AnW , GmZ , $FI\sigma$, &c. de toutes les lisses, quoique je n'aye représenté réellement qu'une

F

Fig. 10.

Fig. 11.

Fig. 10.
* 11.

seule lifse $GM\zeta$, celle qui est immédiatement au-dessous de celle *du fort*. Cette lifse, comme on voit, est une ligne courbe dont $\zeta z Z$ est l'axe & qui a pour ordonnées les intersections Mz , GZ , &c. de son plan avec celui de chaque coupe, ou ses propres projections sur ces mêmes coupes. Malgré cette extrême différence qu'il y a entre une ligne courbe & ses ordonnées, entre les lisses & les lignes droites qui les représentent, nous donnerons quelquefois, pour éviter la longueur du discours, & je crois l'avoir déjà fait, le nom de lisses à ces lignes droites. Au reste on voit aussi dans la même figure, que nous avons divisé en trois parties égales la distance $v\delta$ des lisses du fort & des façons sur l'étrave vD pour trouver les points ζ & ϵ où doivent venir se rendre les deux lisses moyennes & que la distance AE sur la première coupe, est également partagée en trois parties égales par ces mêmes lisses.

Il se présente ici une remarque importante qui étonnera sans doute les Constructeurs, de même que toutes les autres personnes qui ont quelque connoissance de l'Architecture Navale. Les lisses marquées par des lignes droites dans le plan & qui servent à l'achever, ne répondent point exactement, contre ce qu'on a pensé jusqu'à présent, aux lisses placées de la manière ordinaire sur le Vaisseau. Ces dernières, comme je l'ai déjà dit, sont de longues règles de bois qu'on applique sur la surface convexe que forment ensemble les membres, & qu'on ne fait plier qu'autant qu'il est nécessaire, pour imiter la courbure de la surface, sans se permettre de les faire détourner à droite ou à gauche; de sorte qu'on s'efforce, pour ainsi dire, de les rendre dans leur courbure, les plus droites qu'on peut. Si on leur donnoit toute autre situation, elles perdroient l'usage qu'elles ont d'indiquer la situation des bordages; & outre cela on ne sçauroit comment les courber. Mais il suit de là qu'elles sont placées selon les lignes courbes connues des Geomètres, lesquelles marquent la moindre distance d'un point à un autre sur une surface courbe, & qu'elles sont donc des courbes à doubles courbures, excepté dans

très-peu de cas , mais qui n'ont point encore eu lieu dans la construction ; comme lorsque la surface est celle d'un conoïde au sommet duquel les lignes vont se terminer. Hors de ce petit nombre de circonstances , plus on entreprend de rendre droit un fil ou quelque'autre corps flexible sur une surface courbe , plus on est sûr de le courber en différens sens , parce qu'on l'oblige à suivre la surface dans tous ses contours : il faudroit travailler exprès à l'écartier de la direction qu'il tend à prendre , lorsqu'il passe sur les endroits penchans de la surface , pour qu'il ne fût courbe que dans un seul sens ou pour que sa projection put être une ligne droite.

Les Lecteurs qui faute de Géométrie ne voyent pas avec assez d'évidence la vérité de ce que nous avançons ici, peuvent s'en assurer aisément, à l'égard des lisses placées, comme on les place toujours. Ils n'ont qu'à les regarder d'une certaine distance , & chercher s'il y a un point d'où elles paroissent des lignes parfaitement droites; & ils verront que non. C'est aussi à cette différence qu'il faut attribuer l'embarras où se trouvent quelquefois les Constructeurs , qui sans en connoître la cause , ne sçauroient concilier certaines mesures prises dans leur plan & sur le Vaisseau , & qu'ils rapportent aux lisses qu'ils croient toujours parfaitement correspondantes. On peut néanmoins continuer à se servir des unes & des autres , pourvû qu'on ait soin de les bien distinguer ; celles qui répondent dans le plan à des lignes droites & qui ne sont autre chose que les sections de la surface convexe de la carène , faites par des plans perpendiculaires au premier gabari , comme l'est la ligne ζ MG dans la figure 11 ; & les lisses effectivement placées pendant la construction du Navire , sur la surface que forment les membres , lesquelles sont toujours doublement courbes.

Fig. 11.

Cette distinction entre les lisses étant admise ; si nous voulons assujettir la figure de toutes les coupes intermédiaires du Vaisseau , à celle de la première & à celle des deux autres coupes qui sont aux extrémités de la quille ,

F ij

nous n'avons qu'à donner aux lisses dont le Plan exprime les projections , une courbure régulière plus ou moins convexe , selon qu'on voudra renfler plus ou moins la carène. La première courbure qui se présente est celle du cercle ; mais elle est difficile à décrire en grand , & c'est pour cette raison , sans doute , qu'on emploie plus souvent , ou des ellipses ou même des courbes transcendantes qui sont plus faciles à former. Un très-grand arc d'ellipse se décrit plus aisément qu'un arc de très-grand cercle ; parce que pour décrire ce dernier , il faut avoir son centre qui se trouve à une grande distance , ou bien il faut avoir recours à quelques autres expédients difficiles à employer dans la pratique ; au lieu qu'on peut au contraire décrire un très-grand arc d'ellipse , en décrivant un assez petit arc de cercle dont on emprunte les ordonnées , qu'on ne fait que mettre à beaucoup plus de distance les unes des autres qu'elles n'étoient dans le cercle. La seconde ligne que les Constructeurs emploient ensuite le plus volontiers , est celle des sinus , mais *allongée* ; & ils la forment encore par cette transposition d'ordonnées qu'ils nomment *Réduction*.

II.

Fig. 10.
& 12.

Pour former l'arrière en donnant aux lisses la courbure d'arcs d'ellipses, ils décrivent un arc de cercle 2FA (Fig. 12.) dont le rayon est triple de la plus grande lisse projetée 2FS sur la première coupe , & qui a pour sinus versé 2FS la longueur même de cette projection. C'est-à-dire que la ligne 2FS dans la figure 12 doit être de même longueur que 2FS dans la figure 10 , & qu'avec un rayon trois fois plus grand & en plaçant le centre sur 2FS prolongée , on décrit l'arc 2FA jusqu'à la rencontre de la perpendiculaire ou du sinus droit SA. On divise AS en autant de parties égales, qu'on veut déterminer la figure de différentes coupes entre la première & la dernière posée à l'extrémité de la quille. Nous nous sommes contentés ici pour ne point rendre notre figure trop confuse , de diviser seulement AS en sept parties égales ; mais dans les figures ou dans les

Plans que font les Constructeurs & dont les côtés ont plusieurs pieds de longueur, on doit pousser la division beaucoup plus loin. Il faudra ensuite des points de division élever des perpendiculaires à AS, ou tirer des parallèles à 2FS jusqu'à la rencontre du cercle, & ces dernières lignes transportées sur 2FS, apprendront comment il faut diviser 2FS dans la figure 10, pour avoir les points par lesquels doivent passer les contours de toutes les coupes intermédiaires. On fera la même chose pour toutes les autres lisses 2ER, 2GT, 2AV, &c. ou ce qui revient au même on les divisera proportionnellement à 2FS; & joignant enfin par une courbe tous les points qui se répondent, les premiers points de toutes les lisses les uns avec les autres; tous les seconds points &c. on aura la figure des différentes coupes du Vaisseau faites entre l'arrière & le premier gabari. Il faut remarquer que ces différentes coupes doivent être à des distances égales les unes des autres sur la quille, parce qu'elles doivent partager toute la longueur de la poupe depuis la première coupe, de la même manière qu'on a divisé la ligne SA de la figure 12.

Fig. 10.
& 12.

Pour diviser les autres lisses proportionnellement à la lisse moyenne 2FS (Fig. 12) on prend ordinairement un point K sur le prolongement de AS, dont on tire des lignes K2F, K1, K2, &c. à tous les points de division de 2FS, & il ne reste plus, comme il est évident, qu'à transporter la longueur des autres lisses parallèlement à 2FS entre KS & 2FK pour qu'elles soient divisées en même rapport. Mais plusieurs Constructeurs n'admettent point cette proportionalité; ils divisent chaque lisse par une figure particulière, ils font toujours 2FS égale à la lisse dont il s'agit; mais ils donnent différens rayons à l'arc 2FA. Pour la lisse des façons ils font le rayon triple; pour la première lisse moyenne ils le font $2\frac{2}{3}$ fois plus grand; pour la seconde lisse moyenne $2\frac{1}{3}$; pour la lisse du fort 2 fois; pour la lisse des points d'inflexion $1\frac{3}{4}$, & enfin ils le r'augmentent pour la lisse du *plat bord*, ou du bord du Navire, ils le font deux fois plus grand.

D'autres Constructeurs , au lieu de diviser AS en parties égales , divisent l'arc même 2FA , & achevent le reste comme ci-devant. Alors ils donnent aux lisses une courbure transcendante ; puisqu'elle depend de la relation qu'il y a entre les arcs de cercle & leurs sinus. Les lisses imitent la *courbe allongée des sinus* dont nous avons déjà parlé. Il est évident que quelque méthode qu'on suive , on n'a toujours qu'à rendre le rayon de l'arc 2FA plus petit , lorsqu'on veut courber davantage les lisses , ou renfler la carène. On lui donne le plus grand renflement , en faisant le rayon égal à la longueur même 2FS de la lisse projetée , & alors l'arc 2FA devient un quart de cercle.

CHAPITRE VII.

De la maniere de former toute la partie de l'avant du Navire.

I.

ON employe à peu près les mêmes moyens pour la prouë ; mais on en rend toujours le renflement plus considérable , que celui de la poupe ; & on vient à bout , pour ainsi dire , par deux arcs de cercles , de le multiplier. Ayant prolongé dans la figure 10 les projections des lisses jusqu'à la rencontre de la verticale DY , on fait un quart de cercle ZGO (Fig. 13) qui a pour rayon la longueur entière GZ d'une des projections ; on prend ensuite la portion Zm dans la figure 10 , & on la met en forme de sinus en zM dans la figure 13 , parallèlement au rayon GZ. On prolonge l'autre rayon vers C , & on décrit un nouvel arc de cercle BZ , qui ayant son centre en quelque point C , a pour rayon ou une fois & demie Zz ou le double de cette même ligne Zz , selon qu'on veut donner plus ou moins de renflement à la prouë , & cet arc se termine à Mz prolongée jusqu'en B. Après cela on divise l'arc

Fig. 10.
& 13.

BZ en autant de parties égales qu'on veut diviser la quille en avant du maître gabari, ou qu'on se propose de trouver la figure de différentes coupes en avant de la première. D'autres Constructeurs au lieu de diviser l'arc BZ en parties égales, le divisent en parties inégales, mais qui repondent à des parties égales du sinus Bz. Enfin conduisant des points de division D, E, &c. des paralleles à BM jusqu'à la rencontre du quart de cercle, on ne fait plus que transporter les parties PH, QI, &c. sur GZ, & cette ligne se trouve divisée de la même maniere que le doit être la lisse GZ dans le plan représenté par la figure 10. C'est-à-dire qu'il faut mettre Z₁ en Z₁; Z₂ en Z₂, &c. pour avoir les points par lesquels doivent passer les contours des coupes de l'avant.

Fig. 10.
& 13.

Au lieu de faire une autre figure semblable à la treizième pour les autres lisses, souvent on les divise proportionnellement, du moins les parties interceptées entre la première coupe IGD & la dernière PmD; c'est-à-dire, qu'au lieu de porter les lisses entieres entre KG & KZ, on porte seulement leur partie comme An entre Km & KG. Mais il faut remarquer que cela donne une autre forme à la prouë, que lors qu'on fait une figure particuliere pour la longueur entiere de la projection de chaque lisse.

I I.

En suivant cette méthode & celle que nous avons expliquée dans le Chapitre précédent, tout le corps du Vaisseau se trouve déterminé, sçavoir la partie qui est comprise entre les deux coupes extrêmes, placées aux deux extrémités de la quille. Il reste seulement à former l'extrémité de la prouë, ou à achever la partie qui est au-dessus de l'étrave, la partie ND₁₇ de la figure 11. Comme cette partie n'est pas grande, qu'elle est le prolongement d'une surface déjà formée, & qu'il faut qu'elle se termine à l'étrave qui est déjà placée, les Constructeurs l'ont conduit à vûe d'œil; du moins je ne sache pas qu'ils ayent eu de méthode reguliere jusqu'à présent, pour l'achever, dans la circonstance dont il s'agit. La question se reduit à prolonger sur la

surface convexe de la carène les courbes qui forment les lisses : mais il faut remarquer qu'on ne peut pas continuer précisément les mêmes lignes ; parce qu'elles iroient peut-être , se rencontrer ou en delà ou en deçà de l'étrave. Tout ce qu'on peut donc faire , c'est d'ajouter ou d'enter à l'extrémité de la courbe que forme déjà la première partie de la lisse , une autre courbe qu'on choisira , qui lui soit tangente , & qui ait la courbure qui convient , pour venir se rendre à l'étrave.

Fig. 10.
& 14.

Il n'est pas difficile de tracer sur un plan la courbe que forme la première partie de la lisse. S'il s'agit , par exemple , de la seconde lisse moyenne , nous avons ZG dans la figure 10 pour la plus grande ordonnée , & $1Z$, $2Z$, &c. pour toutes les autres qui doivent être arrangées à une égale distance les unes des autres , & à la même distance qu'il y a entre les coupes dont on a obtenu la figure. Ainsi si on tire une droite zZ (Fig. 14) égale à toute la partie de la quille qui est en avant du maître gabari , il n'y a après l'avoir partagée en parties égales , qu'à lui élever des perpendiculaires égales aux ordonnées que nous venons de spécifier , & la courbe $GHIM$ qui passera par leurs extrémités à toutes , représentera la courbure que prendra la lisse en partant du point G du premier gabari (Fig. 10.) pour se rendre au point m du gabari de l'avant , qui est à l'extrémité de la quille ; elle marquera la courbure de la lisse même GM (Fig. 11.) Cette courbe étant tracée , (Fig. 14.) on pourra lui tirer mécaniquement une tangente au point M , & il faudra que cette tangente le soit aussi à la portion de courbe $M\zeta$ qu'on ajoutera à l'extrémité M de la première.

Supposé que cette tangente soit MN , & qu'on veuille achever la lisse par un arc de cercle , il n'y aura , comme le savent les Lecteurs , qu'à élever une perpendiculaire MS à cette tangente & ce sera sur cette perpendiculaire qu'il faudra mettre le centre de l'arc $M\zeta$ qui viendra rencontrer l'étrave en ζ . Il sera aussi toujours facile de savoir à quelle distance $z\zeta$ l'arc de cercle doit aller se terminer.

Car

Car dans la figure 10 on a DZ pour la hauteur du point de rencontre de la lisse dont il s'agit & de l'étrave, & si on cherche dans la figure 1 ou dans la figure 11 ou dans la figure 19 faite exprès pour cela, le point ζ de l'étrave qui a effectivement cette hauteur, on pourra mesurer combien il est en dehors de l'extrémité de la quille, mesurer sa saillie ζz, & on aura l'intervale marqué par les mêmes lettres dans la figure 14. On pourra prendre enfin, à commencer du point z, des espaces d'une certaine grandeur, comme du quart ou de la cinquième partie de ceux qui ont servi à diviser la quille; & si on prend les ordonnées correspondantes, & qu'on les porte sur la projection Zm de la lisse dans la figure 10, à commencer du point Z, on trouvera les points par lesquels passeront les contours des coupes de la partie saillante de la prouë. On fera la même chose pour toutes les autres lisses; & on fera ensuite en état de tracer le contour de ces coupes particulières. Je ne les ai pas représentées dans la figure 10, parce qu'elles ne sont pas à la même distance les unes des autres que le sont les premières: mais on les voit dans la figure 15 qui n'appartient donc qu'à la seule partie saillante de la prouë, ou à la partie destinée à couvrir la poupe PmD de la figure 10.

III.

Tout ce qui paroît manquer ici pour la regularité de la méthode, c'est le moyen de tirer la tangente MN à l'extrémité M de la courbe qu'on veut prolonger par une autre ligne courbe. On peut sans doute dans l'usage ordinaire se contenter de tirer mécaniquement cette tangente; cependant je montrerai en peu de mots la manière de la conduire géométriquement. Les ordonnées de la lisse (Fig. 11 & 14) ne sont autre chose, comme on le sçait, que les ordonnées même du quart de cercle GZO, (Fig. 13.) non pas appliquées aux divers points de l'arc ZB étendu en ligne droite, mais appliquées aux points d'une droite zZ (Fig. 14.) plus longue dans un certain rapport; mais nous

G

supposerons pour une plus grande facilité , que l'arc ZB de la figure 13 est égal à la droite zZ de la figure 14 ou de la figure 11. Ainsi tirant dans la figure 13 une parallèle $\zeta\mu$ infiniment proche de BM, on aura B ζ pour la différentielle des abscisses , & S μ pour la différentielle correspondante des ordonnées ; & puis qu'on sçait que ces différentielles sont entr'elles comme la soûtangente qui appartient à un certain point de la courbe est à l'ordonnée correspondante , nous n'avons qu'à chercher leur relation reciproque , pour nous mettre en état de déterminer la soûtangente & de tirer la tangente. Si du point ζ , on conduit la petite perpendiculaire ζT à BM, la ressemblance du grand triangle rectangle BzC & du petit ζTB , donnera cette analogie $BC | Bz || B\zeta | \zeta T$ qui se trouve égale à $\frac{Bz \times B\zeta}{BC}$, & c'est en même tems la valeur de SM. Mais la ressemblance des deux autres triangles ZzM & μSM , nous donne cette autre analogie ; $Mz | Zz || SM = \frac{Bz \times B\zeta}{BC} | S\mu$ qui se trouve égale de cette sorte à $\frac{Bz \times B\zeta \times Zz}{BC \times Mz}$.

Il est donc clair que nous avons maintenant en grandeurs finies & connues le rapport qu'il y a entre les différentielles S μ des ordonnées , & entre les petites parties correspondantes B ζ de l'axe de la courbe que nous examinons ; & puisque ce rapport est le même que celui qu'il y a entre les ordonnées & les soûtangentes , il ne nous reste plus qu'à faire cette dernière analogie ; $S\mu = \frac{Bz \times B\zeta \times Zz}{BC \times Mz}$ est à B ζ , ou ce qui revient au même , Bz \times Zz, est à BC \times Mz , comme l'ordonnée Mz , est à $\frac{BC \times \overline{Mz}^2}{Bz \times Zz}$ pour la longueur de la soûtangente. C'est-à-dire que les soûtangentes sont égales au produit du quarré du sinus Mz par BC , divisé par Bz & par Zz ; ce qui nous fournit la construction suivante. Il n'y a qu'à tirer au point M du quart de cercle la tangente MV , & on aura zV pour la valeur de $\frac{\overline{Mz}^2}{Zz}$. Ti-

LIVRE I. SECTION I. CHAP. VIII. 51
 tant ensuite VX perpendiculaire à BC, cette ligne VX
 fera la valeur de $\frac{BC \times Mz}{Bz \times Zz}$ & fera donc égale à la soûtan-
 gente requise. Il est vrai que cette soûtangente n'appartient qu'à la courbe qui résulte de l'application des or-
 données zM, RL, &c. aux divers points de l'arc BZ ren-
 du ligne droite; mais pour avoir celle qui appartient à la
 courbe MG (Fig. 14) ou à la lisse même, il n'y a qu'à
 augmenter la première en même raison que zZ (Fig. 14.)
 est plus grand que l'arc BZ (Fig. 13.)

CHAPITRE VIII.

*Faire en sorte que la courbure entiere des lisses depuis la
 première coupe jusqu'à l'étrave appartiennent
 à la même ligne courbe.*

I.

LES Constructeurs, comme on l'a déjà insinué, n'ont
 point de méthode, pour faire en sorte que chaque
 lisse suive la même ligne courbe depuis le maître gabari
 jusqu'à l'étrave, lorsqu'ils sont obligés de donner à la coupe
 de l'avant, faite à l'extrémité de la quille, une figure par-
 ticulière. Mais lorsqu'ils sont dispensés d'observer cette
 dernière condition, ou lors qu'au lieu d'être obligés de
 faire passer une lisse GMζ (Fig. 11.) par les trois points
 G, M & ζ, ils ne sont assujettis qu'à la faire passer par G
 & ζ, ils ont plusieurs moyens pour la conduire d'une ma-
 nière uniforme. On n'en indiquera ici qu'un seul qui ne dif-
 ferera presque point de la méthode expliquée dans le pre-
 mier article du Chapitre précédent, & on l'empruntera
 du Manuscrit de M. de Pulmi dont on a déjà parlé.

Après avoir décrit un quart de cercle WAC (Fig. 16.)
 dont le rayon est égal à la longueur WA (Fig. 10.) de la
 G ij

projection de la lifse du fort , ils décrivent d'un rayon double ouquelquefois d'un rayon seulement une fois & demie plus grand , & en mettant le centre sur WC prolongée , un arc WB qui se trouve terminé par CB perpendiculaire à l'extrémité C de WC. La plus grande longueur qu'ils donnent au rayon de l'arc WB est de le faire double de WC , comme je viens de le dire , lorsqu'ils veulent diminuer considérablement le renflement de l'avant ; mais ils rendent quelquefois ce même rayon beaucoup plus petit ; car ils se contentent dans certains cas de le faire égal à WC , alors l'arc WB devient un quart de cercle ; & ils parviennent par là , pour ainsi dire , à la limite ou au terme de la plus grande convexité que peut avoir la prouë. Après cela ils divisent l'arc WB en autant de parties égales qu'ils veulent trouver la figure de différentes coupes en avant du maître gabari. Dans d'autres cas , au lieu de rendre les parties WD , DE , &c. égales entr'elles , ils font subsister cette égalité entre les parties correspondantes de BC. Enfin tous s'accordent à tirer des points de division D , E , F , &c. jusqu'à l'arc AC du quart de cercle des parallèles à BC , & à transporter les parties MH , NI , &c. sur le rayon WA , pour sçavoir de quelle maniere il faut diviser la lifse WA dans la figure 10 , afin d'avoir les points par lesquels doivent passer les contours de toutes les coupes.

A l'égard des autres lisses , ils se contentent pour l'ordinaire de les diviser proportionnellement en prenant un point K sur le prolongement de CW , il n'importe en quel endroit ; en tirant de ce point des lignes droites à tous les points de division de WA , & en plaçant les projections des autres lisses parallèlement à WA. Ils observent seulement lorsqu'ils placent les projections GZ des autres lisses parallèles à WA , de ne les pas mettre depuis KA jusques à KW , mais de faire répondre leurs extrémités Z à une certaine partie de W₃ , selon que l'extrémité ζ (Fig. 11.) de la lifse GMζ , tombe au tiers ou au quart , &c. d'une des parties égales dans lesquelles on a divisé la longueur de l'avant du Vaisseau. Telle est la pratique qu'on suit tou-

jours, & qui est fort éloignée d'être régulière : si elle ne fait pas souvent naître des angles considérables & comme des faults dans la courbure de la prouë, ce n'est que parce qu'on se donne toujours la liberté dans l'exécution, de changer quelque chose dans les gabaris tracés avec le plus de soin. Dans la rigueur, c'est de l'arc FB dont il faut prendre une certaine partie aliquote ; puisque c'est l'arc entier BW qui représente seul la longueur totale de la prouë. C'est-à-dire, qu'il faut qu'il y ait même rapport de tout l'arc WB à la partie BP qu'on en retranche, lors qu'on veut diviser les autres lisses ; que de toute la longueur vW (Fig. 11.) de la prouë mesurée dans le plan de la lisse du fort, à son excès sur la longueur ζZ qu'à la prouë dans le plan, par exemple, de la lisse moyenne qui est immédiatement au-dessous. Le point P de la figure 16 étant ainsi trouvé, il n'y aura qu'à tirer PQ parallèlement à BC ; conduire QR parallèlement à CW ; joindre les points K & R par la droite KR ; & ce sera entre KA & KR qu'il faudra placer la longueur ZG de la projection de la lisse dont il s'agit, pour avoir tous les points de division : & il faudra faire la même chose pour tous les autres.

I I.

Au reste il est facile de suppléer à la méthode dont on a besoin pour assujettir à la même courbe, les lisses entières, lorsque la figure de la coupe de la prouë, faite à l'extrémité de la quille, est déterminée. On peut même résoudre le Problème d'une infinité de manières, & en se servant, il n'importe de quelle ligne courbe ; pourvu qu'elle ait plus d'un parametre, aussitôt qu'on veut assujettir les axes à une certaine situation, & qu'on ne veut pas donner aux Vaisseaux une figure trop différente de celle qu'ils ont. Il s'agit en général de faire passer dans la figure 11 une courbe par les trois points donnés G, M, ζ ; en faisant en sorte, pour se conformer à l'usage qui a toujours régné jusqu'à présent, qu'elle soit perpendiculaire en G à son ordonnée GZ. Il n'y aura pas plus de difficulté pour chaque autre lisse ; on

aura toujours un point par lequel elle doit passer sur le premier gabari, un autre sur la coupe à l'extrémité de la quille & un troisième sur l'étrave; & la situation de ces trois points l'un par rapport à l'autre sera toujours donnée.

Fig. 17.

La première des lignes courbes qui peuvent satisfaire au Problème, est l'ellipse conique; nous nous contenterons d'expliquer ici la manière de l'employer. Les trois points par lesquels il faut faire passer l'arc d'ellipse sont G, M & ζ dans la figure 17. Les ordonnées GZ & Mz sont égales ou sont opposées l'être aux deux lignes marquées par les mêmes lettres dans la figure 11. La partie d'abscisse Zz est égale à la longueur de la quille en avant de la première coupe; & la partie ζz est égale à la saillie de la proue au-dessus de l'étrave. Je suppose que l'ellipse dont GMζ (Fig. 17.) en un arc soit achevée, & je prolonge jusqu'à la rencontre de la courbe de l'autre côté les lignes Mz, GZ, ζZ. Le grand axe de cette ellipse est AB, & son petit GF; la ligne MH est parallèle au grand axe de même que EK, de sorte que CK = CH. C'est une propriété de l'ellipse, connue de tous les Géomètres, que le rectangle de ζZ par zD est au rectangle de GZ par ZF comme celui de ζz par ZD est à celui de Mz par zE. Le premier de ces rectangles est un carré, puisque les lignes ζZ & ZD sont égales; & le troisième rectangle de ζz par zD est égal, comme on le sait, au carré de Zζ moins celui de Zz.

Ainsi la première analogie se change en celui-ci, $\overline{\zeta Z} | \overline{GZ} \times \overline{ZF} || \overline{\zeta Z}^2 - \overline{zZ}^2 | \overline{Mz} \times \overline{zE}$. Et comme la première raison ne sera point changée, si on divise les deux termes par GZ; ni la seconde, si on divise son antécédent & son conséquent par Mz, nous aurons cette autre proportion $\frac{\overline{\zeta Z}^2}{\overline{GZ}} | \overline{ZF} || \frac{\overline{\zeta Z}^2 - \overline{zZ}^2}{\overline{Mz}} | \overline{zE}$; qui se change en cette autre $\frac{\overline{\zeta Z}^2}{\overline{GE}} | \frac{\overline{\zeta Z}^2 - \overline{zZ}^2}{\overline{Mz}} || \overline{ZF} | \overline{zE}$; & en $\frac{\overline{\zeta Z}^2}{\overline{GZ}} - \frac{\overline{\zeta Z}^2 + \overline{zZ}^2}{\overline{Mz}} | \frac{\overline{\zeta Z}^2 - \overline{zZ}^2}{\overline{Mz}} || \overline{ZF} - \overline{zE} = \overline{KF} = \overline{HG} | \overline{zE}$. Or les trois premiers termes de cette dernière proportion étant absolument

connus, il sera toujours facile d'en connoître le quatrième zE ou ZK , qu'on ajoutera à $KF = GH$ & de plus à GZ , & on aura le petit axe GF de l'ellipse.

Je crois qu'au lieu de chercher à construire par lignes, quoique cela fût facile, l'analogie à laquelle nous venons de parvenir, il vaut toujours beaucoup mieux dans la pratique, la résoudre par le calcul; en mesurant sur une échelle de parties égales la longueur des lignes qu'on connoît. Pour avoir le second terme on prendra toujours l'excès du carré de ζZ sur le carré de zZ qu'on divisera par Mz ; & pour avoir le premier terme, on ôtera le second terme du carré de ζZ qu'on divisera par Gz . Le troisième terme sera GH excès de GZ sur Mz ; & enfin on ajoutera le quatrième terme à KF ou à HG & de plus à GZ pour avoir le petit axe. Supposé que ζZ soit de 600 parties; ζz de 100; GZ de 150, & Mz de 70; on aura pour les trois premiers termes de la proportion $828 \frac{4}{7} | 1581 \frac{2}{7} || 80$; & le quatrième terme sera $151 \frac{21}{29}$ qui étant augmenté de 80 pour KF & de 150 pour GZ , donnera $381 \frac{21}{29}$ pour le petit axe & $190 \frac{11}{29}$ pour sa moitié CG . Il ne restera plus après cela pour tracer l'arc d'ellipse, sans s'éloigner des pratiques que sçavent les Constructeurs, qu'à décrire un quart de cercle cag (Fig. 18.) qui ait son rayon de $190 \frac{11}{29}$ parties; on fera gZ de 150, & on tirera $Z\zeta$ parallèlement à ca . Ce sera l'arc de cercle $g\zeta$ dont il faudra former l'arc d'ellipse; & ce dernier ne sera autre chose, que le premier dont les ordonnées seront seulement placées à plus de distance les unes des autres. En un mot il n'y aura qu'à diviser ζZ en autant de parties égales qu'on se propose de diviser ζZ dans la figure 17, & porter toutes les ordonnées de l'arc de cercle, vis-à-vis des points correspondans de ζZ dans la figure 17. On pourra aussi porter ces ordonnées sur la portion ZG de la lisse dans le plan représenté par la figure 10; & si on fait la même chose pour toutes les autres lisses, les courbes qui passeront par tous les points qui se répondent, marqueront le contour de chaque coupe.

C H A P I T R E IX.

De la maniere de projetter les diverses coupes du Navire sur toutes sortes de Plans.

JUSQUES à present nous n'avons insisté que sur la maniere de projetter tout le Vaisseau sur un plan vertical perpendiculaire à sa longueur ; parce que cette espece de projection suffit pour en faire connoître la figure, & pour mettre les Constructeurs en état de le bâtir. Si on veut projetter le Navire sur quelqu'autre plan que ce soit, il sera toujours facile de déduire cette nouvelle projection de la premiere. Supposons qu'il s'agisse d'avoir la figure de toutes les lisses sur le plan vertical qui coupe le Vaisseau selon sa longueur par la moitié, & que la projection se fasse toujours par des perpendiculaires abaissées de tous les points des lisses sur ce Plan vertical. Après avoir dans la figure 19 représenté la quille avec l'étrave & l'étrambot dans leur longueur & dans leur situation, on divisera la quille en autant de parties égales qu'il y a d'intervalles entre les coupes que marque le Plan de la figure 10. On tirera par tous les points de division des lignes verticales, ou plutôt des lignes perpendiculaires à la quille & elles représenteront ces coupes vûes d'une distance infinie dans la direction des baux. La verticale AD_1 représente, par exemple, la premiere coupe ou celle qui est faite dans l'endroit le plus gros du Vaisseau, & ND_2 celle de la prouë, faite à l'extrémité de la quille. Prenant ensuite dans la figure 10, pourvu qu'elle soit faite sur la même échelle, toutes les quantités dont les lisses sont élevées successivement dans les différentes coupes au-dessus de l'horizontale B_2B ; prenant toutes les quantités, par exemple, dont la seconde lifse moyenne Gm est élevée dans les points $G, 1, 2, 3, \&c$; il n'y aura qu'à les porter dans la figure 19 perpendiculairement au-dessus de

de la quille dans les coupes qui leur conviennent , & on aura tous les points G , 1 , 2 , 3 , &c. par lesquels doit passer la projection requise de la lifse. On marque ordinairement dans ce même Plan , ou on projette les différens ponts, de même que la *ligne d'eau* ou la ligne jusqu'à laquelle le Navire doit plonger dans la Mer : c'est ce qu'on pourra exécuter aisément sur ce que nous avons dit dans le Chapitre III.

Il est principalement nécessaire de tirer la ligne d'eau, lors qu'on veut avoir un troisième Plan qui représente le Navire coupé par la surface même de la Mer. On sçait que cette ligne n'est point parallele à la quille & qu'elle doit s'élever d'autant plus vers l'arriere , que lorsque le Navire est en mer, sa quille n'est point horifontale & qu'il *cale* ou plonge davantage par l'arriere que par l'avant. C'est OQ cette ligne ; & on peut en tirer plusieurs autres paralleles au dessous, si on veut avoir un grand nombre de coupes horifontales. Enfin on mesurera à quelle hauteur chacune de ces lignes coupe successivement les verticales qui représentent les coupes ; & prenant les largeurs de ces coupes précisément à ces hauteurs dans la figure 10 , on aura toutes les différentes largeurs que doit avoir la coupe horifontale dont on demande la forme. La figure 20 nous montre seulement la coupe horifontale faite à fleur d'eau. Pour trouver CL, on a mesuré la demie largeur de la premiere coupe AD₂A de la figure 10 , à une certaine hauteur au-dessus du point D , égale à la hauteur AD , prise dans la figure 19. Pour trouver également la demie largeur MN (Fig. 20.) on a mesuré celle de la coupe D/mn (Fig. 10.) à une hauteur , égale à D₂z (Fig. 19.) &c.

Ce sera presque la même chose, si le plan sur lequel on veut projeter le Navire , n'est point parallele à la quille & qu'en même tems, il s'incline vers un des flancs, en faisant, par exemple, avec les baux un angle de 12 ou 13 degrés , qui est ordinairement la quantité dont le Vaisseau s'incline le plus dans les routes obliques. La ligne tirée de l'avant à l'arriere dans la figure 19 , marquera toujours à

H

quelle hauteur il faudra examiner la largeur de chaque coupe verticale dans la figure 10. Mais au lieu de mesurer cette largeur sur une ligne horisontale , il faudra la mesurer sur une ligne inclinée de 12 ou 13 degrés par rapport à A_2A , ou à B_2B , & il faudra donc tirer un ligne oblique pour chaque largeur.

Ces derniers Plans ne peuvent guères se faire qu'en petit , & il suffit de leur donner 2 ou 3 pieds de longueur pour les plus grands Vaisseaux. Mais après qu'on a fait aussi le Plan de la figure 10 de la même manière , on ne peut pas se dispenser de le faire en grand , aussitôt qu'il s'agit de construire le Navire. On cherche une surface plane assez grande ou on se la fait , pour contenir au moins la moitié de la figure 10 dans ses vraies dimensions ; & lorsque les principales coupes sont tracées , on imite la courbure de chacune par des planches ressiées , larges de 8 ou 9 pouces , qu'on joint les unes au bout des autres , & qu'on taille exactement selon les contours. Ce sont ces planches ainsi disposées & destinées à servir de règles ou de modèles pour chaque couple , qu'on nomme proprement *gabar*is ; & les Charpentiers n'ont plus qu'à s'y conformer exactement , lorsqu'ils taillent les pièces de bois qui doivent former les membres.

C H A P I T R E X.

Remarques sur la forme que les règles ordinaires donnent aux Vaisseaux.

IL seroit inutile d'insister davantage sur les moyens qu'ont les Constructeurs pour former la figure de leurs Vaisseaux , ou pour tracer leurs gabaris. On peut consulter sur cela , si on veut , le Recueil manuscrit que nous avons déjà cité plus d'une fois : mais il nous paroît que la pluralité des opérations , que ce grand nombre de diverses pra-

riques pour diviser les lisses , que toutes ces différentes *réductions* , ne sont que la marque d'une vraie disette. On n'a recours à différentes méthodes , que parce qu'on ne connoît pas la meilleure ; & c'est par cette même raison qu'on est d'avis si différens sur toutes les autres proportions dont nous avons ordinairement marqué les limites. Il eût valu incomparablement mieux que sans se permettre la plupart de ces variations , on n'eût toujours suivi qu'une seule pratique ; & que changeant seulement quelqueune de ses circonstances , on eût été extrêmement attentif à remarquer les effets qui en resultoient.

C'étoit le meilleur moyen de perfectionner l'Architecture navale par l'expérience , si la chose avoit été possible ; mais on voit assez que la pratique est insuffisante en plusieurs cas. Il est certain que si elle est seule capable de perfectionner certaines parties , elle a besoin dans une infinité d'autres rencontres , d'être aidée des lumières de la Théorie. Comme ce n'est que l'intention de trouver la vérité qui nous conduit dans nos recherches , nous marquerons toujours avec soin ce que les regles ordinaires ont de bon , & nous tâcherons même de l'autoriser par toutes les raisons , qui se présenteront à nous ; afin que ce soit comme autant de points arrêtés & mis à couvert de toute atteinte , dans les différentes corrections qu'on pourra entreprendre de faire par la suite. A force d'essais on a , par exemple , assez bien trouvé en quel endroit de la quille , il faut placer le maître gabari ou l'endroit le plus gros de la carène ; cependant si on diminueoit le renflement de la prouë , je crois qu'il faudroit reporter un peu plus vers l'avant cet endroit plus large , & ne le pas mettre aux $\frac{2}{3}$ de la quille , mais aux $\frac{1}{3}$ de la longueur même de la carène , ou encore un peu plus près de l'extrémité de la prouë. Le maître gabari n'étant de cette sorte jamais placé au milieu du Navire , mais toujours plus vers l'avant , il se trouve que la prouë est plus grosse que la poupe , & que la carène imite mieux la figure des poissons ; c'est ce qui fait d'autant plus d'honneur à la Pratique , que dans la Marine on ne sçait pas trop la raison

Hij

d'un usage qui paroît si extraordinaire.

Tous les Lecteurs ont aussi fait attention que les endroits les plus larges de chaque coupe vont en s'élevant vers l'avant & vers l'arrière, mais beaucoup plus vers l'arrière. On s'est mis dans la nécessité de se soumettre en partie à cet usage par cet autre dont nous avons déjà parlé & qu'on observe depuis long-tems, de faire toujours enfoncer davantage dans l'eau l'arrière du Navire que l'avant, d'environ une sixième partie du creux. Comme la prouë n'est pas plus faite pour fendre l'eau avec facilité, lorsque la quille est parfaitement de niveau, que lorsqu'elle est inclinée; car on ne sçait pas quelle propriété on lui donne; on a sans doute voulu éprouver, lorsque le Navire a été en Mer, de quelle maniere il singloit mieux; & ayant souvent remarqué qu'il falloit faire caler un peu davantage l'arrière, on s'en est fait une loi. Cette pratique est au moins toujours utile en cela, que l'arrière plongeant davantage dans l'eau, le Navire doit mieux sentir son gouvernail. On s'est mis aussi par cet usage dans la nécessité de ne pas rendre les ponts paralleles à la quille, car si on leur donne ordinairement la même hauteur en avant que vers le milieu, on l'augmente toujours beaucoup vers l'arrière. En élevant le premier pont à mesure qu'il avance vers la poupe, sa hauteur proche de l'étrambot est d'environ une sixième partie plus grande que le creux, & moindre à peu près de la même quantité que la hauteur de l'endroit le plus gros ou le plus large. Cette situation du pont détermine celle des baux qui sont destinés à le soutenir, comme nous l'avons dit, en même tems qu'ils lient les deux flancs du Navire l'un avec l'autre; & il suit de là qu'ils ne marquent point les plus grandes largeurs du Vaisseau, si on excepte le premier.

Outre la raison qu'on vient de rapporter, il y en a encore une autre, à ce que je crois, qui invite autant à élever *le fort* du côté de la prouë que du côté de la poupe & qui est beaucoup plus importante; quoi qu'il n'y ait pas d'apparence qu'on y ait fait une attention expresse. Lors

qu'on met vers la prouë & vers la poupe la plus grande largeur de chaque coupe à une plus grande hauteur , on fait enforte dans les routes obliques & lorsque le Navire s'incline beaucoup , que la partie de la carène plongée dans l'eau du côté opposé à l'inclinaison , perd beaucoup de son renflement , & que de l'autre côté la partie sumergée en acquerre au contraire un très-considérable. Le Navire déplace donc beaucoup plus d'eau du côté de son inclinaison ; & il doit , conformément à la maniere dont les fluides agissent , en être soutenu avec plus de force, & devenir par conséquent plus capable de porter la voile. C'est ce que nous tâcherons d'éclaircir davantage par la suite. Mais on voit déjà assez qu'en élevant de cette sorte les plus grandes largeurs de la carène , on les met , pour ainsi dire , en reserve pour servir au besoin (lorsque le Vaisseau s'inclinera ,) & pour servir précisément du côté qu'il sera nécessaire. Nous pouvons aussi reconnoître que cette disposition est moins importante dans les Navires qu'on fait plus plats par dessous & qui doivent être chargés par en bas d'un plus grand poids. Car ces bâtimens par la seule pesanteur de leur charge ou de leur lest , doivent déjà mieux soutenir la voile.

Au reste , quoique nous ne condamnions pas absolument l'usage où l'on est de faire plus plonger dans l'eau l'arriere que l'avant du Navire , nous ne sçaurions cependant approuver aucune des regles dont se servent les Constructeurs pour déterminer la différence de ces deux divers enfoncemens. On pourroit construire un Navire exprès pour ne *caler* ou enfoncer dans l'eau que jusqu'à un certain terme , & on y réussira , aussi-tôt que la construction sera fondée sur de vrais principes. Mais quand un Navire n'est pas plus fait pour un certain enfoncement précis , que pour un autre , de même que tous les Vaisseaux qu'on a construits jusques à présent ; c'est une question très-difficile & une des plus compliquées de toute l'Architecture navale , que de déterminer le terme exact jusqu'au quel on doit le faire plonger. On croiroit peut-être qu'il

ne s'agit que de faire caler le Navire de maniere qu'il acquerre le plus de force qu'il est possible pour soutenir la voile ; mais l'enfoncement trop grand feroit augmenter considérablement la résistance que feroit l'eau au mouvement du sillage , & la rapidité de la marche diminueroit. Il ne s'agit pas non plus de trouver absolument la partie de la carène qui éprouve une moindre résistance. Car le Vaisseau n'enfonçant que peu dans l'eau , on ne pourroit lui donner que peu de mâture pour ne pas s'exposer au plus grand péril ; on perdrait toujours trop du côté de la force du vent ou de la quantité des voiles , & le Navire iroit encore moins vite. Il s'agit donc de rendre la résistance de l'eau la moindre qu'il se peut , non pas absolument , mais relativement , ou eu égard à l'étendue qu'on peut donner aux voiles ; & on entrevoit déjà qu'il faut pour résoudre ce Problème, se livrer à un examen aussi long que pénible ; entrer dans le détail de toutes les courbures de la carène, pour juger qu'elle sera la résistance que doit éprouver la prouë , selon qu'elle est plus ou moins plongée ; & discuter en même tems la distribution & la pesanteur de toutes les parties du Navire , afin de sçavoir la force qu'il aura dans chaque cas , pour soutenir l'effort du vent. Après cela nous ne sommes que trop en droit de conseiller aux Marins de faire de fréquentes expériences sur la situation ou sur *l'assiette* de leur Navire ; car nous n'avons à leur proposer qu'une solution très-compiquée * du Problème dont il s'agit , qu'on ne peut résoudre que par médiation ; au moins lorsqu'on veut porter la discussion jusques dans les cas particuliers. Il est vrai que les Constructeurs qui ne veulent point être arrêtés par des difficultés capables de tenir indécis les Mathématiciens les plus habiles , croient pouvoir s'en tirer d'une autre maniere. Plusieurs d'entr'eux prétendent qu'il faut examiner lorsqu'on lance le Vaisseau à l'eau , la situation qu'il prend de lui-même , & faire ensuite en sorte , quand il est achevé , qu'il est lesté & entièrement équipé , qu'il se trouve encore la même différence entre ses enfoncemens de l'arriere & de l'avant.

* Voyez
le Chap. 6.
de la Sect.
4. du Liv. 3.

Le Lecteur ne peut que nous plaindre de nous voir obligés de refuter sérieusement de pareilles maximes : car il n'y a pas le moindre rapport entre ces deux états dans lesquels les Constructeurs comparent leur Navire. Si la carène a la propriété de naviger avec la plus grande vitesse, lorsqu'elle entre entierement dans l'eau, elle ne doit pas l'avoir également lorsqu'elle n'entre que jusqu'à la moitié ou jusqu'au tiers de sa profondeur. On sçait d'ailleurs qu'il dépend du Constructeur qui veut mettre un Vaisseau à la Mer, de l'achever plus ou moins ; & de faire qu'il enfonce diversement par une extrémité ou par l'autre. Ainsi ce moyen proposé mystérieusement par les gens du métier, & reçu avec trop de respect par beaucoup de Marins, ne sert qu'à nous confirmer dans le jugement que nous sçavions déjà qu'il faut porter de la plûpart de leurs autres règles.

Mais si les maximes ordinaires doivent se trouver imparfaites, c'est principalement dans la figure même qu'on donne au corps du Navire ; car il étoit impossible qu'on pût découvrir par la Pratique seule & par des essais, quelques réitérés qu'ils fussent, les particularités d'une surface courbe entiere qui est un assemblage d'une infinité de lignes courbes & de points. Il ne faut donc pas douter que ce ne soit ici où la construction a principalement besoin d'être reformée. En général la prouë est trop renflée, & les lisses par le moyen desquelles on la forme, ont toujours trop de convexité. On a bien senti dans la Marine que cette partie ne devoit pas être trop aigue : mais on n'a pas reconnu qu'il suffisoit de porter la plus grande largeur du Navire plus vers l'avant, pour procurer cette plus grande grosseur, sans qu'il fût nécessaire de l'augmenter encore par la courbure excessive des côtés. Il se peut faire que par des considérations particulieres, on ne puisse pas suivre rigoureusement en cela tous les préceptes de la Théorie ; mais il est au moins toujours avantageux de les sçavoir, afin d'avoir en vûe le point de perfection, dans le rems même qu'on ne peut pas y atteindre & qu'on est obligé de s'arrêter en deçà.

C H A P I T R E X I .

Suite du Chapitre précédent , avec la maniere de rendre la figure des Vaisseaux plus parfaite.

I.

SI on se contentoit de faire consister *les façons* ou les diminutions de grosseurs du Vaisseau dans le seul retrecissement de ses varangues , sans lui donner d'acculement , en faisant , pour ainsi dire , traîner sa prouë sur la quille jusqu'à son extrémité , il faudroit , comme nous le démontrerons dans le troisiéme Livre , rendre les lisses des lignes parfaitement droites. Ainsi si la premiere coupe étoit un rectangle , la prouë seroit formée seulement par deux plans verticaux , qui en se rencontrant feroient un angle aigu à l'extrémité de l'avant , & la prouë seroit terminée par une arête verticale intersection des deux plans. La figure 21 représente cette prouë qui n'est formée que par des surfaces planes , & dans laquelle les lisses CA , ED , &c. ne peuvent pas manquer d'être des lignes droites.

Mais si on donne de l'acculement aux varangues ou qu'on détache entierement la prouë de la quille , comme dans la figure 22 , l'arête verticale AD de l'extrémité se raccourcit par en bas de toute la quantité de l'acculement DF ; & alors la prouë , comme on le verra aussi dans le troisiéme Livre , ne doit plus être formée par des surfaces planes. Les lisses doivent être courbes , & elles doivent l'être davantage lorsqu'on élève le point D ou qu'on augmente *les façons* DF ; en même tems que la figure qui étoit déjà plus avantageuse , le devient encore plus & approche du *maximum maximorum* , dans lequel réside le dernier point de perfection. Arrivée à ce terme , la prouë a la figure d'une espece de demi conoïde regulier , dont la base , au lieu d'être circulaire , est un rectangle. Mais

ce

ce qui est principalement digne de remarque , c'est que vû les dimensions qu'on donne ordinairement aux Vaisseaux , il arrive toujours , lorsque l'acculement vers l'avant est le plus grand qu'il est possible , ou lorsque toute l'arête verticale de l'extrémité , est disparue , & que la prouë a enfin acquis l'état le plus avantageux de tous , que les lisses qui sont aussi parvenues à leur plus grande courbure , ne sont pas encore si courbées que l'est un arc de cercle de 18 ou 20 degrés ; ou ce qui revient au même , qu'elles diffèrent encore si peu de la ligne droite , qu'elles ne s'en éloignent pas vers le milieu de la vingt ou vingt-deuxième partie de leur longueur. Supposé ce que nous disons , il s'en faut donc extrêmement que les Constructeurs , malgré leurs différentes tentatives , aient rencontré la vraie figure de la prouë dont il faut retrancher presque tout le renflement. Ils étoient aussi fort éloignés de connoître cette regle qui peut leur devenir très-utile , & qu'on peut regarder comme un secret de Construction ; *que moins on donne d'acculement ou de façons FD (Fig. 22.) aux varangues vers l'avant , plus on doit rendre droites toutes les lisses CA , ED , &c.*

Les choses que nous avançons dépendent d'une Théorie trop compliquée , pour que nous puissions actuellement en faire entrevoir les raisons : nous le ferons dans la suite ; il suffit ici , où il ne s'agit que de pratique , de ne rien dire qui ne soit parfaitement démontré. * Nous joindrons aussi quelques tables vers la fin du troisième livre par le moyen desquelles , on pourra donner à la prouë la figure la plus exacte , quand on le voudra. Mais il n'y a presque point à s'y tromper , aussi-tôt qu'on sçait que les deux termes entre lesquels doit être la courbure , sont extrêmement voisins l'un de l'autre ; qu'il faut rendre les lisses ou parfaitement droites comme dans la figure 21 , ou leur donner à peine la courbure d'un arc de 18 ou 20 degrés , comme dans la figure 22. On leur donnera à peu près cette dernière courbure , nous le repetons , quand on voudra augmenter l'acculement ou donner à la prouë plus de façons ; au lieu qu'on

* Voyez
le Chap. 4.
de la Sect.
5. du Liv. 3.

rendra les lisses presque droites quand on voudra diminuer l'acculement DF. On peut par cela seul, sans s'attacher scrupuleusement aux règles précises que prescrit la spéculation, en retirer sensiblement tout le fruit. Il n'y a qu'à conserver, si on le veut, au maître gabari sa figure ordinaire, quoi qu'il soit toujours avantageux pour la marche d'en diminuer les dimensions & souvent de le retrecir par en bas. On gagneroit extrêmement du côté de la promptitude du fillage de ne donner de largeur à cette couple que la cinquième ou la sixième partie de la longueur du Navire, en même tems qu'on diminueroit le creux à proportion. C'est ce que nous montrerons dans la suite avec la plus grande évidence ; & nous ferons même voir cette singularité très-étonnante, qu'il ne feroit pas impossible en diminuant ces deux dimensions, ou bien en augmentant la longueur, de faire aller un Navire quelquefois aussi vite que le vent. *

Nous revenons aux lisses auxquelles on pourra donner, si on le veut, toujours la même situation : c'est-à-dire qu'elles peuvent se terminer sur l'étrave à des distances égales les unes des autres, & partager aussi également le contour du maître gabari, en commençant aux extrémités du plat de la varangue. Soit qu'on leur fasse imiter ensuite la courbure d'un arc de cercle, ou celle d'un arc d'ellipse, &c. il suffira de n'écarter cette courbure du milieu de la ligne droite qui lui sert de corde, que d'une vingt-cinq ou trentième partie de sa longueur totale ; & rien n'empêche de suivre dans cette opération la méthode *des réductions*, ou l'emprunt que font ordinairement les Constructeurs, des ordonnées d'une courbe pour en tracer plus aisément une autre.

* Voyez
le Chap. 8.
de la Sect.
4. du Liv. 3.

I I.

Ainsi il sera toujours facile de donner, à très-peu près, à la prouë la forme qu'elle doit avoir. Après avoir tracé la première coupe AD₂A (Fig. 23.) & avoir tracé les projections AW, GZ, &c. des lisses, on prendra la longueur d'une de ces projections, par exemple, de celle WA de la lisse *du fort*, on tirera une droite WA (Fig. 24.)

Fig. 23.
& 24.

de cette même longueur, à l'extrémité W , de laquelle on élèvera une perpendiculaire Wv ; & prenant un point v , à volonté sur cette seconde ligne qu'on pourra faire égales à la première, on tirera la droite vA au milieu de laquelle on élèvera une perpendiculaire BC , qui ne seroit que sa vingt-cinquième ou trentième partie, si la ligne vA étoit de même longueur que la lisse même; mais comme elle sera plus courte, on fera BC de sa dix ou douzième partie. On fera passer ensuite un arc de cercle ACv par les trois points A , C & v , & divisant Wv en autant de parties égales qu'on veut diviser la longueur de la prouë, ou qu'on se propose de trouver la figure de différentes coupes en avant du maître gabari, on tracera par tous les points de division D , E , G , &c. des parallèles à WA jusqu'à la rencontre de l'arc vA , & transportant ces parallèles sur WA ; cette dernière ligne se trouvera divisée comme le doit être la projection WA de la lisse dans la figure 23 pour que la lisse soit un arc (d'ellipse) très-peu courbé.

Il n'y aura pas plus de difficulté pour les autres lisses. Il faudra seulement faire attention que la longueur de la prouë étant moins grande dans leur plan que dans celui de la lisse du fort, cette longueur ne sera pas représentée par Wv , mais par une droite RQ moins longue. S'il est question, par exemple de la première lisse moyenne dont ϕF (Fig. 23.) est la projection, il faut que QR (Fig. 24.) soit à vW , comme $\phi\phi_3$ (Fig. 11.) est à vW , ou comme la distance du point ϕ dans la figure 19 à la verticale AD_1 , est à la distance du point v à la même verticale. Enfin si par hazard RA se trouvoit égale à la projection de la lisse moyenne dont il s'agit actuellement, il n'y auroit qu'à transporter R_1 , R_2 , R_3 , &c. sur la projection même pour trouver les points de division; mais en général il faudra d'un point K pris à volonté sur le prolongement de vW , tirer des lignes droites à tous les points, 1, 2, 3, &c. & portant en ϕF la longueur de la projection de la lisse, elle se trouvera divisée proportionnellement à RA . On fera la même chose pour toutes les autres, & rien n'em-

pêchera ensuite de tracer le contour de toutes les coupes qu'on vouloit avoir.

Au lieu d'élever la perpendiculaire BC au milieu de vA , (Fig. 24.) on peut l'élever au tiers de cette ligne, en faisant AB double de Bv. Il faudra alors former l'arc ACv de deux arcs de cercles différens qui viendront se toucher en C, & qui auront par conséquent leurs centres sur la perpendiculaire CB prolongée autant qu'il sera nécessaire. On suivra le reste de l'opération dans toutes les circonstances : mais on imitera beaucoup mieux de cette sorte la courbure qui est la plus propre à fendre l'eau.

Ce sera à peu près la même chose de la poupe ; les lisses doivent être aussi presque droites, & on ne doit guères les en détourner par le milieu, que d'une vingt ou vingt-cinquième partie de leur longueur. Ainsi tout le Navire doit presque prendre la figure des deux demi cônes (Fig. 25.) joints par leurs bases, & les *façons* doivent être telles qu'elles commencent subitement dès l'endroit le plus gros, où la prouë & la poupe se séparent ; & ce doit être, comme je l'ai déjà dit, aux $\frac{1}{12}$ de la longueur totale, à commencer de l'extrémité B de la prouë : au lieu que dans la fabrique qui est actuellement en usage, le corps même de la carène est sensiblement de même grosseur dans un grand espace, & se trouve en même tems comme attaché à la quille. On ne cherchera point malgré tout cela à disculper la Géométrie, de la figure étrange qu'elle paroît donner aux Vaisseaux ; ce sera aux Marins à s'y accoutumer. Cependant il est des raisons particulières qui autorisent à alterer un peu cette figure : les abordages seroient, par exemple, extrêmement dangereux, si on laissoit l'arête EFD sans l'adoucir ; ainsi il ne faut pas manquer de l'émousser. Quoique la partie AFG qui s'étend, pour ainsi dire, à une si grande distance du Navire, paroisse désormais inutile, on ne peut pas néanmoins la retrancher, parce qu'il faut nécessairement attacher toujours le gouvernail à l'étambot GA. A l'égard de la partie BCF, on pourroit plutôt la supprimer, si on pouvoit le faire sans

diminuer la solité avec laquelle tous les membres doivent être liés pour faire un corps , & si une autre raison fort importante n'invitoit pas encore à ne pas la retrancher. C'est que cette partie contribue beaucoup dans les routes obliques à faire que le Navire *dérive* moins , ou que sa route s'éloigne d'une moindre quantité de la direction de son axe. Il est vrai qu'elle nuit en même tems à la facilité que doit avoir le Vaisseau de tourner lorsqu'il s'agit de faire quelque évolution , & qu'elle le rend *ravier* , c'est-à-dire trop disposé à présenter sa prouë au vent ; mais il n'y a qu'à multiplier les voiles de l'avant ou les faire plus grandes pour s'opposer à cet effet : de cette sorte on réunira tous les avantages , sans s'exposer à aucun inconvenient.

Il faut remarquer que comme un pareil Navire seroit formé pour naviger lorsque sa quille est parallele à la surface de la Mer , il n'y auroit rien à gagner de faire plus plonger son arriere que son avant : la résistance que trouveroit la prouë à fendre l'eau ne changeroit pas d'une quantité sensible. D'un autre côté le gouvernail ne peut pas manquer de produire ici son effet, à cause de la facilité que doit avoir l'eau à le fraper avec toute sa force. Aussi-tôt que la poupe ne doit pas plus enfoncer dans l'eau que la prouë , rien n'empêche de rendre les ponts paralleles à la quille : & il est également évident qu'on ne doit plus mettre à une si grande hauteur la lisse d'hourdy ou l'endroit le plus large de la poupe ; il suffira de rendre cette hauteur plus grande que le creux d'une huitième ou neuvième partie.

III.

Au surplus tout ce que nous venons de dire convient principalement aux Fregates & à tous les Navires dont il s'agit de rendre le sillage rapide lorsqu'ils navigent dans une belle Mer , sans qu'il soit question de les rendre capables de porter un grand poids. Mais si l'on a des raisons pour donner à la carène une plus grande capacité , ou si on veut que le Navire soit capable de soutenir plusieurs

ponts & une artillerie considérable , si on veut éviter le tangage , il n'y aura qu'à employer la prouë représentée dans la figure 26 , en même tems qu'on élargira un peu toute la carène.

La prouë de la figure 26 ne répond à nos idées que d'une maniere générale : nous supposons assez d'adresse aux Constructeurs pour pouvoir adoucir tous les angles & toutes les arêtes de cette figure. Si l'on donnoit le plus de *façons* qu'il est possible à cette prouë , les lignes courbes qui en la formant viendroient se terminer à son extrémité A , ne seroient pas encore plus courbes que des arcs de cercle de 18 ou 20 degrés. Mais en diminuant les *façons* & en rendant horisontale leur lisse ED , cette lisse deviendra parfaitement droite , conformément à ce que nous avons dit ci-devant : Les autres lisses comme CM , seront également droites & paralleles à la premiere dans toute la partie interceptée entre les Plans BFEC & NDM ; mais la faillie de l'étrave AD jointe à l'inclinaison des flancs de la premiere coupe BFEC , fera cause qu'il faudra ensuite courber les lisses d'en haut pour fermer la prouë. La surface DMCE seroit plane si le côté EC du maître gabari étoit une ligne droite : au lieu qu'elle sera comme cylindrique , à cause de la courbure ordinaire de EC ; & dans tous les cas , DM fera parfaitement égal à EC. Lorsque le plat EF de la maîtresse varangue sera la moitié de la longueur BC du bau , la demi largeur LM qui est égale à HC fera la moitié de GC : Ainsi la prouë aura au-dessus de l'extrémité D de la quille , une largeur NM égale à la moitié de la plus grande largeur BC de la carène.

Il n'est pas nécessaire d'insister sur la maniere de tracer alors les coupes. On voit bien que chacune , comme PRST sera formée de deux parties parfaitement égales à celles BFK & HEC de la premiere ; mais rapprochées l'une de l'autre. La distance RS à laquelle il faudra les mettre , sera le plat de chaque varangue ; & ce plat diminuera en même raison que la distance à l'extrémité D de la quille. A l'égard de la partie ANMD , on pourra la former en pro-

longeant chaque lifse comme CM par un arc de cercle AM, qui ait pour tangente en M la partie rectiligne CM de la lifse ; ce qui fera que la lifse entiere CMA aura dans sa totalité une plus grande courbure , laquelle seroit encore augmentée , si on rendoit le plat FE de la maîtresse varangue plus petit ; puisque HC deviendrait plus grande , & que LM est égale à HC. Cette prouë qu'il suffit simplement d'imiter en empruntant ses principales particularités , ou en se conformant au total de sa forme , doit trouver plus de difficulté à fendre l'eau que celle que nous avons montré à former dans l'article précédent : mais les grandes largeurs qu'elle conserve par en haut depuis la premiere coupe BIC jusqu'au dessus de l'extrémité de la quille , font au moins qu'elle est très-capable de soutenir l'effort de la voile.

Cette forme du Navire le rendra aussi plus capable de resister aux mouvemens de la Mer qui produisent le *tangage* ou ces balancemens aussi dangereux qu'incommodes qui se font dans le sens de la longueur. La Mer dans son agitation vient fraper une des extrémités du Navire & la fait s'élever. Alors l'autre extrémité est obligée de plonger dans l'eau , & elle continue à s'enfoncer jusqu'à ce qu'elle soit arrêtée par la resistance de l'eau ou par le poids du volume qu'elle déplace. D'autres fois le Navire n'est pas choqué , c'est simplement la Mer qui perd en partie son niveau par l'agitation de ses ondes. La Mer se soustrait tout d'un coup de dessous la prouë , ou la poupe ; & il faut donc absolument que cette partie du Navire retombe pour se trouver soutenue. Ce mouvement violent du Vaisseau peut causer la rupture des mâts , & fait toujours tort à la promptitude de la marche dont il interrompt une partie. Il est évident qu'on ne peut éviter tous ces accidens , ou au moins les diminuer , qu'en grossissant un peu les deux extrémités de la carène ou qu'en ne leur donnant pas de si grandes façons par dessous. Il faut consulter l'expérience sur cela , puisqu'il s'agit d'accommoder la figure des Vaisseaux à l'usage particulier qu'on se propose d'en faire , ou

à la nature des voyages qu'on veut entreprendre. Mais souvenons-nous toujours qu'il est démontré que lorsqu'on n'a en vûe que la seule promptitude du sillage & qu'on ne veut traverser que des Mers tranquilles , comme l'est par exemple , la mer Méditerranée pendant nos plus belles saisons , le Navire ne doit differer que très-peu de deux cônes joints par leur base.

Enfin si le renflement qu'on vient de procurer à la carène ne suffisoit pas encore , on pourroit donner au Navire exactement la même grosseur dans un espace considérable qui fût la cinquième ou le quart , ou tout au plus le tiers de toute sa longueur , & on n'observeroit les regles qu'on vient de prescrire qu'à l'égard des parties de la carène qui seroient vers l'avant & vers l'arriere & qu'on destineroit à servir de prouë & de poupe. Il me paroît seulement que comme la capacité de la cale seroit après cela assez grande , il vaudroit mieux donner ensuite plus de façons à l'avant ou le faire terminer plus en pointe , afin de ne pas tant perdre du côté du sillage. Cette dernière attention seroit principalement observée dans les Navires de guerre , pour lesquels on ne feroit aussi cette partie de la carène qui conserve la même grosseur vers le milieu , que la moins longue qu'on pourroit.

Si au lieu des Bâtimens ordinaires de transport on veut construire une Flute , il n'y aura qu'à prendre pour modèle la figure d'un parallelipipede rectangle , mais qu'on alterera en formant la prouë & la poupe par deux plans inclinés ; l'un panché en avant pour la prouë , & l'autre en arriere pour la poupe. On aura toujours le soin de conserver les deux parties que représentent BCF & FGA dans la figure 25 , non-seulement parce qu'elles servent à fortifier la prouë & la poupe ; mais encore plus à cause des autres usages que nous leur avons déjà attribués. Enfin on observera à peu près ces proportions ; que si la longueur totale du Navire est de 144 parties , d'en donner environ 44 à la prouë ou à la saillie du plan incliné qui la termine , 32 au corps même de la carène qui conserve la même grosseur &

& 68 à la poupe. Cette Flute dont il n'y aura qu'à émousser les angles aura la forme la plus parfaite de toutes, comme on le verra dans la dernière Section du Livre III.* il paroît outre cela que la grande longueur de ses flancs qui sont parfaitement droits, seroit très-propre à recevoir de l'artillerie, ce qui pourroit la rendre utile pour la guerre.

* Voyez
l'article 3.
du Chap. 9.

CHAPITRE XII.

De la maniere de mettre les Navires à l'eau ; & le moyen de reconnoître s'ils se courbent dans le sens de leur longueur , par l'effort qu'ils souffrent dans ce mouvement.

I.

ON n'attend pas pour mettre un Navire à l'eau, qu'il soit entièrement construit; sa pesanteur qui se trouveroit plus grande, rendroit beaucoup plus difficile cette opération qui ne l'est déjà que trop. On n'a pas dans tous les Ports de ces bassins peu étendus qu'on nomme *formes*, dans lesquelles on pourroit, non-seulement achever un Navire, mais l'armer & l'équiper; & où il ne resteroit plus pour le mettre à flot, qu'à ouvrir les portes, lorsque la Mer est haute. Outre que dans nos Ports nous avons trop peu de *formes*, & que quand on en a fait deux ou trois dans le même, on les a placées mal à propos à l'extrémité les unes des autres, ce qui empêche souvent que chacune puisse servir à part; on les reserve ordinairement pour les *radoub*s, c'est-à-dire, pour faire les reparations, soit aux bordages, soit aux membres, dont les Navires n'ont besoin que trop souvent.

On construit donc presque toujours les Vaisseaux sur les quais; mais on a le soin de rendre incliné le Plan sur lequel on les bâtit, afin de pouvoir ensuite les faire glisser

K

plus aisément jusques à l'eau ; dont ils ne sont jamais fort éloignés. On donne souvent six lignes d'inclinaison au Plan sur chaque pied de longueur ; de sorte qu'il fait toujours avec l'horison un angle d'environ $2\frac{1}{2}$ degrés , à moins qu'on ne soit obligé de changer un peu cette pente , à cause des circonstances du lieu. Le *chantier* sur lequel on construit le Navire , est formé de poutres placées en travers , ou placées perpendiculairement à la quille. Ces poutres se nomment *tins* , & la quille au lieu de porter immédiatement dessus , est élevée pour la commodité des ouvriers , & aussi pour les raisons qu'on verra dans la suite , sur plusieurs billots ou coins situés sur les *tins* de distance en distance. Le plan que forment les *tins* étant incliné du côté de la Mer , la quille n'est point horizontale , elle a la même inclinaison que le chantier ; & on met la prouë ordinairement du côté de l'eau.

On commence par poser la quille , & à mesure qu'on place chaque membre au-dessus , ou même l'étambot & l'étrave , on a le soin de le soutenir toujours par des *accores* qui sont des pieces de bois qui servent d'arc-boutans ; & ce sont ces mêmes *accores* qui empêchent le Navire de tomber d'un côté ou d'autre , pendant qu'on le construit. On pousse l'ouvrage au moins jusques au premier pont , on *borde* la carène , ou on la revêt de ses bordages ; & on borde aussi le premier pont qui est soutenu de tous ses baux. Souvent les autres ponts ne sont point encore commencés ; mais il est absolument nécessaire que le premier soit achevé , pour éviter différens accidens ; & pour rendre sur tout le Navire plus capable de soutenir le mouvement auquel on va l'exposer.

On prolonge le chantier jusqu'à l'eau , en mettant au-devant du Navire , perpendiculairement à sa longueur , d'autres poutres , d'autres *tins* qui forment un plan toujours également incliné , & on met au-dessus , au milieu , une suite de forts madriers pour servir de chemin à la quille , qui est retenue par de longues tringles parallèles , lesquelles forment comme une coulisse. Le Vaisseau pendant

qu'il glisse sur sa quille, n'étant plus soutenu par ses accores, tomberoit infailliblement sur l'un ou l'autre flanc, si on ne l'en empêchoit de chaque côté par de longues poutres situées parallèlement dans le sens de sa longueur entre lesquelles il se meut, & qui étant éloignées les unes des autres à peu près de sa demie largeur, répondent de chaque côté vers l'extrémité du plat de la maîtresse varangue. Ces poutres s'étendent jusqu'à l'eau tout le long du chantier ou du *berceau* auquel elles sont bien arrêtées, & on les nomme à cause de leur longueur *anguilles* dans certains Ports, mais le nom qu'on leur donne plus souvent est celui de *couettes*. Elles ne sont jamais assez hautes pour parvenir jusqu'à la carène du Navire, quoi qu'elles soient fort avancées dessous; mais on attache fortement au Navire même, des deux côtés, deux autres pieces de bois qu'on nomme ordinairement *dragues* dans le Ponant & *colombiers* dans le Levant, qui portent ou s'appuyent sur les couettes & qui peuvent glisser dessus. Après que le tout est ainsi disposé, on a toujours le soin de renouveler les coins. On ôte à coups de massues les anciens qui s'étoient comme collés avec les reins & avec la quille, & qui s'y étoient engagés par l'impression causée par le grand poids dont ils étoient chargés; & à mesure qu'on les ôte, on leur en substitue de nouveaux.

Les Navires qu'on veut lancer à l'eau de cette maniere, sont toujours soutenus en trois endroits, sous la quille & des deux côtés par les *couettes* & par les *dragues*: mais il y a eu des Constructeurs qui ne les faisoient porter qu'en ces deux derniers endroits. Ils ôtoient les anciens coins sans en mettre de nouveaux; la quille se trouvoit en l'air, & tout le poids du Navire dans tout le chemin qu'il faisoit pour parvenir jusqu'à l'eau, se distribuoit entre les deux couettes: la premiere maniere me paroît beaucoup sûre; le corps du Navire travaille moins. A l'égard du frottement il doit être sensiblement le même; on doit avoir toujours la même difficulté ou la même resistance à vaincre: car qu'un corps pesant ne s'appuye que sur deux points, il s'appuye

davantage sur chacun , & le frottement est plus grand ; au lieu que lorsqu'il porte sur trois , il s'appuye moins sur chacun , le frottement en chaque endroit est plus petit ; mais la somme des trois frottemens dans le dernier cas est égale à la somme des deux frottemens dans le premier. Quoiqu'il en soit on n'oublie jamais afin de faciliter le mouvement , de froter les couettes avec du suif , de même que le chemin de la quille , lorsqu'il est nécessaire. On examine si tout le long du chantier, ou du *berceau*, il n'y a rien qui puisse faire obstacle ; s'il n'y a pas la moindre pointe de clou , &c. Enfin on ôte les *accors* des côtés , & le Navire n'est plus arrêté par l'avant que par la seule accore qui s'appuye contre l'étrave & qu'on nomme la *soubarbe* ; & outre cela par un bout de cable qui le retient de l'arriere , & qui est appliqué à une ancre à demi enterrée.

Si toutes les précautions ont été bien prises , & si la pente du berceau est telle que je l'ai dite , il suffit après avoir coupé le bout du cable de *retenue* dont je viens de parler , de faire sauter la *soubarbe* , cette piece de bois qui s'oppose au mouvement du Navire , en s'arcboutant contre l'étrave. Le Vaisseau en s'ébranlant part avec une lenteur qui permettroit d'abord de lui croiser le chemin plusieurs fois ; mais sa vitesse s'accelerant par degrés , il va bientôt avec tant de rapidité , qu'il n'y a plus rien capable de l'arrêter , & que le feu prend au chantier. Pour faire sauter la soubarbe , on peut la fraper avec une massue ; & le Charpentier , s'il ne manque pas de tête , a tout le tems ou de fuir ou de se jeter entre les tins ; mais il vaut beaucoup mieux se servir d'un long *belier* dont on assure les coups de loin , en le maintenant dans une espece de canal. La soubarbe en tombant & en restant sur la route du Vaisseau , causeroit quelque accident , mais elle est attachée à une corde ; & plusieurs ouvriers qui sont toujours dans le Navire , ont le soin de la tirer promptement en haut. A l'extrémité de l'arriere , au talon , il y a plusieurs leviers tous disposés , de longues solives de 25 ou 30 pieds dont on engage le bout sous la quille , & qui servent , non pas à

pousser le Vaisseau , mais à lui causer quelque agitation , supposé qu'il ne parte pas assez vite. On y attache aussi , ou on y *amarre* , pour parler comme les Marins , plusieurs cordages qui vont se rendre à des rouës ou à des cabestans où il y a du monde tout prêt à agir. La moindre chose , comme je l'ai déjà dit , un seul gravier peut arrêter le premier mouvement , & rendre inutiles les efforts de plusieurs centaines de personnes , qui s'aident de différentes machines ; le Constructeur au desespoir ne sçait quelquefois à quoi s'en prendre. Mais après que le mouvement s'est une fois accéléré , on n'a plus de pareils obstacles à craindre ; il n'est plus question que d'arrêter la trop grande vitesse , avec laquelle le Navire iroit souvent se briser de l'autre côté du Port.

On se sert pour empêcher cet accident de plusieurs cordages de *retenue* ; & comme on sçait par expérience que les plus gros cables n'auroient pas assez de force , on met plusieurs cordages plus courts qu'on veut bien qui se rompent , pour détruire le premier effort. On ploye aussi quelquefois ces cordages , & on attache leurs plis avec différentes autres cordes qui doivent se casser successivement. Il y a bien à prendre garde pour les Ouvriers & pour les Spectateurs , pendant la rupture de toutes ces cordes ; car elles donnent comme des coups de fouets , qui ont souvent tué ou blessé plusieurs personnes. On peut pour éteindre plus promptement le mouvement , tenir aussi vers le haut de la poupe diverses pieces de bois attachées ; & les laisser tomber dans l'eau l'une après l'autre , à *la traine* du Navire.

II.

De la courbure que les Vaisseaux souffrent dans le sens de leur longueur lors qu'on les lance à la Mer.

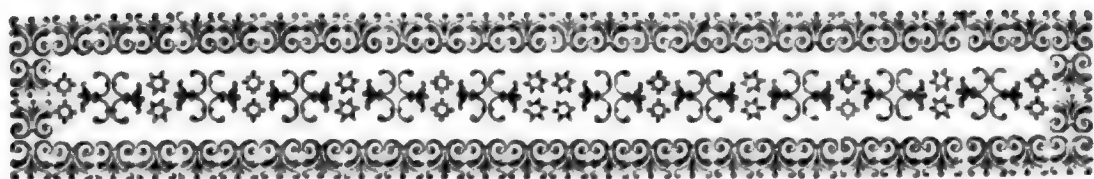
Un autre accident qu'il est plus difficile d'éviter & auquel on ne s'avise pas néanmoins de faire sitôt attention , c'est la courbure que le Navire reçoit ordinairement dès ce

premier instant dans le sens de sa longueur. La plupart des Lecteurs sçavent que toutes les liqueurs poussent en haut les corps qui flotent sur leur surface à proportion du volume qu'ils y occupent : c'est d'ailleurs ce que j'aurai occasion d'expliquer dans le Livre suivant. Le Navire occupant par son milieu beaucoup plus d'espace dans l'eau , en est beaucoup plus soutenu : au lieu que c'est le contraire de la prouë & de la poupe , en même tems qu'elles sont plus pesantes. Ainsi le soutien que fournit l'eau n'est pas distribué comme il le devroit ; il est appliqué principalement au milieu , quoique ce soient les extrémités qui pesant davantage en auroient plus besoin. On ne doit point s'étonner après cela qu'un corps autant appesanti que fortifié par toutes les pieces de bois qui le forment , se courbe ou *s'arque* considérablement , & que la quille en faisant un arc très-sensible , tourne sa convexité en haut. Cette courbure qui augmente de plus en plus , parce que la cause qui la produit , agit sans cesse , oblige de faire de grandes reparations aux Navires , & les rend à la fin incapables de naviger. Mais on peut remarquer que le premier effort qu'ils souffrent , lors qu'on les lance à l'eau , produit déjà un très-dangereux effet. Quelquefois l'arriere est encore sur le chantier , pendant que tout l'avant est presque en l'air , & que son poids fait effort pour courber la quille & toutes les autres pieces situées dans le même sens. Il est vrai que si le *berceau* s'étend fort loin dans l'eau , ce qu'on a la facilité de faire dans les Ports de l'Océan , en profitant du reflux pour y travailler , & de la pleine Mer pour mettre le Navire à la Mer , il y a beaucoup moins de risque. Cependant la prouë se trouvant soutenue par l'eau pendant que l'arriere s'appuye encore sur le chantier , la quille & diverses autres pieces sont dans le cas d'un corps long & flexible soutenu par les deux extrémités ; & elles acquièrent en se pliant en dessous , plus de facilité à *s'arquer* ensuite dans le sens contraire. Ainsi laissant même à part divers autres accidens qui ne sont que trop fréquens , il seroit toujours à souhaiter qu'on eût des bassins ou des for-

mes dans tous les Ports, pour y pouvoir construire tous les Vaisseaux.

Une marque infallible qu'un Navire s'est plié ou *arqué*, c'est qu'on voit que les bordages d'en haut dont les bouts étoient exactement joints les uns aux autres, pendant qu'il étoit encore sur le chantier, se trouvent un moment après considérablement éloignés les uns des autres : On ne peut pas douter après cela que tout l'ouvrage n'ait cédé & obéi. Pour déterminer avec autant de précision que de facilité, la quantité de la courbure, il n'y a, lorsque le Vaisseau est encore sur le chantier, qu'à élever trois regles verticalement sur le Pont, ou si l'on veut dans la cale sur la carlingue, l'une au milieu & les deux autres aux deux extrémités à l'avant & à l'arrière : On placera des mires à une certaine hauteur sur les deux qui sont aux extrémités, & faisant monter ou descendre une troisième mire sur la regle du milieu, jusqu'à ce qu'elle soit exactement en ligne droite avec les deux premières, ou sur le même rayon visuel ; on mesurera sa hauteur au-dessus du Pont ou au-dessus de la Carlingue. Si on fait ensuite la même opération, lorsque le Navire sera à l'eau, & qu'on trouve qu'il faut toujours mettre cette mire du milieu à la même hauteur ; ce sera une marque que le Navire ne s'est point arqué, mais s'il faut la mettre plus bas d'une certaine quantité, comme cela arrivera presque toujours, ce sera une marque que le milieu du Navire s'est élevé, & on connoîtra exactement de combien. Rien n'empêchera d'examiner de cette sorte quel est de tems en tems le progrès du mal, en réitérant l'expérience sur la carlingue & sur le pont ; & on sçaura beaucoup mieux le remede qu'il faudra y apporter.





S E C O N D E S E C T I O N .

Des Agreils ou Appareux du Navire.

C H A P I T R E P R E M I E R .

Du Gouvernail & du Cabestan.

I.

LE Vaisseau déjà construit a besoin de beaucoup d'autres choses pour pouvoir naviger ; & toutes ces pièces ou parties qu'il faut lui ajouter , se nomment *agreils* ou *appareux*. Tel est le gouvernail dont tout le monde sçait l'usage , pour maintenir le Navire sur la même route , ou pour l'en faire changer , & qui dans la comparaison du Vaisseau avec les poissons , représente la queue dont il remplit quelques unes des fonctions. Cet instrument est attaché par de gros gonds à l'étambot & on le fait tourner par le moyen d'un long levier qu'on nomme *barre* ou *timon* , qui étant inséré presque perpendiculairement dans le haut , s'introduit dans le Vaisseau le plus souvent entre les deux premiers ponts par la Sainte-Barbe *, en passant par dessus la tête de l'étambot. Le gouvernail est fort étroit dans toute sa partie qui est hors de l'eau ; celle qui est dans la Mer & qui est exposée à l'impulsion , n'a gueres aussi que quatre pieds de largeur dans les plus grands Navires , & environ deux dans les plus petits. A l'égard de son épaisseur ; elle doit être la même que celle de l'étambot , afin que l'eau le frappe dans toute sa largeur de quelque côté qu'on le tourne.

* La Sainte-Barbe est l'apartement le plus bas de la poupe , qui sert principalement aux Canonniers.

Pour

Pour faire tourner le gouvernail avec plus de facilité, on se sert ordinairement d'une rouë de trois ou quatre pieds de diamètre, placée verticalement sous le gaillard dans le sens de la largeur du Navire. AB (Fig. 27.) est l'étambot, DC est le gouvernail & CE est la *barre* ou le *timon* & à son extrémité E, on applique deux cordes EIL, & EFHK qui passant sur les deux poulies G & F arrêtées aux deux côtés du Navire & venant repasser sur les poulies I & H, montent ensuite verticalement jusqu'à l'axe MN de la rouë OP, & s'enveloppent chacune de différens côtés sur cet axe. Il est clair que lorsqu'on fait tourner la rouë OP dans un certain sens, une des cordes se lâche, en même tems que l'autre se roidit, & doit tirer le timon vers le flanc du Navire. La force des Matelots ou des *Timoniers* doit se trouver multipliée autant de fois que le rayon de la rouë est plus grand que le rayon de son essieu, & que la longueur du timon est plus grande que la demie largeur du gouvernail. Dans les plus grands Vaisseaux le timon AE peut avoir 30 pieds de longueur; ce qui donne déjà un avantage considérable à la force motrice, elle est appliquée à quinze fois plus de distance, & son moment doit donc être quinze fois plus grand. D'un autre côté le rayon de la rouë OP peut être trois ou quatre fois plus grand que le rayon de l'axe ou de l'arbre MN; ce qui multiplie la force encore trois ou quatre fois. Ainsi faisant abstraction du frottement qui ne laisse pas d'être considérable; la force de chaque *Timonier* est multipliée quarante-cinq ou soixante fois; & il suffit par conséquent de faire un effort de vingt livres pour en soutenir un de neuf cens, ou de douze cens livres que feroit l'eau par son choc contre le gouvernail. C'est aux Anglois que nous devons cette disposition.

Fig. 27.

Les personnes qui ont ignoré la science du mouvement, ont admiré de tout tems l'effet du gouvernail, qui ayant si peu de rapport au Vaisseau par sa grandeur, réussit cependant d'une manière si infailible à le faire changer de direction. Lorsque le Navire suit constamment une certaine route, toutes les puissances à l'action desquelles il est sujet

L

sont exactement en équilibre les unes avec les autres: l'effort du vent sur les voiles de la prouë, se contrebalance exactement avec l'effort du vent sur celles de la poupe; & la somme de ces efforts est aussi parfaitement en équilibre avec celui que fait l'eau en choquant la carène. Ainsi il ne faut pas toucher au Navire le moins du monde, si on veut que cet équilibre subsiste, & que le sillage continue à se faire sur la même ligne. Mais si par la Mécanique que nous venons d'expliquer, on fait tourner le gouvernail tout à coup, & que situé qu'il étoit sur le prolongement de la quille, on lui donne une situation oblique; l'eau le frappera avec d'autant plus de force, que le Navire singlera avec plus de vitesse; l'équilibre sera altéré, & le sera d'autant plus que le gouvernail étant appliqué à l'extrémité de la quille, & à une grande distance du centre de gravité du Navire, est situé très-avantageusement pour agir avec une grande force relative. Le gouvernail sera poussé en arrière, mais il sera poussé en même tems de côté, à cause de sa position oblique; & si le premier effort ne fait que ralentir un peu la promptitude du sillage, il est clair que le second doit transporter la poupe de côté, & faire tourner le

Fig. 28. Vaisseau. On n'a pour voir tout cela qu'à jeter les yeux sur la figure 28 qui représente un Navire réduit, pour ainsi dire, à la quille AB. Le gouvernail AC est poussé par l'eau selon une direction DE qui lui est perpendiculaire, comme on l'apprend en Mécanique. Mais il y a nécessairement une partie de cet effort qui s'emploie à pousser de côté selon DF; & c'est cet effort partial qui est peu considérable en lui-même, mais qui est capable d'une grande action, vu la longueur du levier dont il est aidé, qui fait tourner le Vaisseau, en faisant passer la poupe de A en *a*, en même tems que la prouë passe de B en *b*. Toutes les fois donc qu'on met le gouvernail dans une situation oblique; qu'on le fait avancer du côté droit, par exemple, ou du côté de *stribord*, la poupe est jettée du côté opposé, du côté gauche ou de *basbord*; pendant que la prouë qui reçoit un mouvement contraire, doit tourner du même côté qu'on a tourné le gouvernail. Ceci est toujours vrai, lorsque le Na-

vire va de l'avant; au lieu que s'il reculoit, comme cela arrive quelquefois, ce seroit tout le contraire. En mettant le gouvernail à droit ou à gauche, le Navire (je veux dire sa prouë) se détourneroit de l'autre côté; & cela par la même raison. Fig. 28.

Un si grand nombre de Géomètres ont déterminé la situation la plus avantageuse du gouvernail, que je crois pouvoir me dispenser de donner une nouvelle solution de ce Problème. On a trouvé que le gouvernail doit faire avec le prolongement de la quille un angle CAE d'environ $54^{\text{d}} 44'$; il est vrai qu'on a négligé une considération, & que le Problème n'est rigoureusement bien résolu, que lorsqu'on suppose que la largeur du gouvernail est infiniment petite, par rapport à la longueur du Navire. Qu'on diminue un peu l'angle CAE, ou qu'on rapproche un peu plus le gouvernail du prolongement de la quille, l'impulsion de l'eau sera un peu moindre; mais d'un autre côté elle sera appliquée à une plus grande distance du centre de gravité G & agira plus efficacement: car le milieu D du gouvernail dans lequel l'effort se réunit, se sera un peu éloigné du corps du Navire. Pour avoir la longueur du bras de levier auquel l'effort absolu est appliqué, il faut abaisser du centre G une perpendiculaire GI sur la direction IDE; & il est également clair qu'on ne peut diminuer l'angle EAC, sans rendre le bras de levier GI un peu plus long. Tout contribue donc à montrer que l'angle déterminé par les solutions ordinaires, dans lesquelles on n'a pas fait entrer cette attention doit être un peu corrigé: Mais on trouve en examinant la chose, que le changement ne doit être tout au plus que des trois quarts d'un degré. Supposé que b designe la distance AG du centre de gravité G du Navire à l'extrémité A de la poupe, & a la demie largeur DA du gouvernail; on aura $-\frac{a^2}{3b} + \sqrt{\frac{a^4}{9b^2} + \frac{1}{3}a^2}$ pour le sinus du complément de l'angle CAE que doit faire le gouvernail avec la quille, lorsqu'on fait servir la demie largeur a de sinus total. Cette expression devient $a\sqrt{\frac{1}{3}}$, aussi-tôt qu'on su-

Lij

pose *b* infinie , comme l'avoient fait tous les Auteurs qui avoient examiné le même Problème. On pourra , si on le veut , joindre à la considération que nous venons de faire , l'attention qu'à eu M. Pitot de distinguer la direction de l'eau qui choque le gouvernail, de la direction de la quille *, lesquelles sont effectivement différentes dans toutes les routes obliques.

* Voyez
la Théorie
de la Ma-
nœuvre des
Vaisseaux ,
&c. Sect. 7.

D U C A B E S T A N .

I I.

Fig. 29. Pour élever plus aisément les vergues ou les abaisser ; lever les ancres & faire différentes autres manœuvres , on a toujours dans les Vaisseaux des *vindas* ou *treuils* que les Marins nomment *cabestans*. J'en ai représenté un dans la figure 29 ; lequel sert en même tems dans deux différens étages ou entreponts du Vaisseau : il a de diamètre environ la onzième partie de la largeur du Navire. Le cordage qu'on veut roidir doit s'envelopper sur la partie CD ou sur la partie EF qui étant faite à redans , est capable de le soutenir , quoiqu'il ne fasse qu'un très-petit nombre de tours , & qu'on le développe presque toujours par l'autre bout. On voit aussi les trous dans lesquels on fait entrer les leviers I, G, K, &c. dont chacun qui forme comme un rayon à 10 ou 12 pieds de longueur dans les plus grands Navires , & est quatre ou cinq fois plus grand que le rayon du cabestan. Ainsi la force de chaque homme lorsqu'elle est appliquée à l'extrémité d'une *barre* ou d'un de ces leviers, est multipliée dans le même rapport ; elle est multipliée quatre ou cinq fois , puisqu'elle est aidée par un bras de levier , quatre ou cinq fois plus long. C'est à peu près la même chose de l'effort des Matelots qui agissent sur des cordes tendues de l'extrémité d'une barre à l'autre : mais ceux qui sont plus près du cabestan , ont beaucoup moins d'avantage , & la force de chacun en prenant le terme moyen , n'est gueres multipliée que trois fois. Quelquefois plus de 110 ou 120 Matelots travaillent en même tems ; & alors la machine

fait donc le même effet que si trois ou quatre cens hommes agissoient ensemble.

Il est assez facile de se tromper dans l'estimation de la force qu'emploie chaque Matelot ; & on ne croira peut être qu'avec peine qu'il ne faut gueres compter que sur un effort de 20 ou 25 livres. On doit cependant remarquer que ce n'est pas ici le cas où un homme chargé d'un grand poids , peut soutenir deux ou trois cens livres , parce que toute sa force , sans qu'il y en ait rien de perdue , est employée efficacement à porter le fardeau. Les Matelots en travaillant au cabestan ne poussent les barres ou les leviers qu'obliquement , en s'appuyant contre le pont ; & de toute leur force , quoique fort grande , il n'y a que la petite partie qui s'exerce horisontalement qui soit capable d'effet. Leur premier effort , lorsque la machine ne tourne point encore , doit être plus grand ; parce que leurs pieds étant stables , ils n'ont qu'à se roidir le plus qu'ils peuvent. Mais aussitôt que le cabestan est en mouvement , les Matelots sont obligés de marcher ; ils n'ont plus ni le tems ni la facilité de s'*arc-bouter* comme ils le faisoient d'abord : d'ailleurs leurs efforts ne sont pas parfaitement simultanés ; & toutes ces raisons sont cause que la force commune ou moyenne de chacun , n'est tout au plus que de la quantité que nous avons spécifiée. Il suit de tout cela que le grand cabestan dans les plus grands Vaisseaux , n'est capable par sa seule action que d'un effort absolu de 10 ou 12 milliers.

Le grand cabestan est placé en arriere ; afin de joindre à ses autres usages , l'avantage de servir plus aisément aux manœuvres du grand mâ : L'autre cabestan lorsqu'il y en a , se met en avant ; & est situé à peu près par rapport au mâ de misaine ou au second mâ , comme le grand cabestan l'est par rapport au premier.

Dans les plus petits Navires , où l'équipage est peu nombreux , on n'a qu'un seul cabestan situé horisontalement , au pied du second mâ , & qui occupe toute la largeur du Navire. On nomme ordinairement ce cabestan *vi-*

revan. Les Matelots qui le font tourner , se mettent tout le long , & chacun peut faire un effort de 60 ou 80 livres ; parce qu'en s'appuyant sur le levier , il le charge de presque toute sa pesanteur. Il est vrai que cet avantage est suivi de l'incommodité où l'on est de changer les barres de place , d'instant en instant ; ce qui est cause que le mouvement ne peut pas être si continu , que dans le cabestan vertical. Toutes ces Machines ont toujours des entailles pour recevoir l'extrémité d'un morceau de bois ou d'une espece de cliquet qui permet le mouvement dans un sens & qui s'y oppose dans l'autre. Les Matelots ont de cette sorte le tems de reprendre haleine ; & se trouvent à couvert du péril auquel ils seroient quelquefois exposés , d'être renversés & blessés par le retour des barres.

C H A P I T R E I I .

*De la nécessité d'avoir des pompes dans les Vaisseaux ,
& de la maniere de les disposer.*

MALGRÉ l'extrême attention avec laquelle on applique les *bordages* du Navire , & qu'on interdit tout passage à l'eau , elle ne laisse pas encore de s'introduire ; & si on ne se précautionnoit pas contre un mal qui iroit toujours en augmentant , on se trouveroit bientôt dans le dernier péril. On ne manque jamais pour éviter ce malheur , d'avoir plusieurs pompes , ordinairement quatre , placées au milieu du Navire , de celles qu'on nomme Aspirantes & dont on doit la premiere invention à *Ctesibius* , Mathématicien d'Alexandrie. La science Hydraulique fournit plusieurs autres machines pour élever les eaux ; mais la pompe aspirante doit être préférée dans les Navires , à cause du peu d'espace qu'elle occupe. Les Anglois ont quelquefois recours à l'usage de la machine nommée *Chapelet* qui puise beaucoup d'eau en peu de tems. Dans

les Vaisseaux Chinois, on partage souvent la cale ou la capacité intérieure en un grand nombre de cellules, afin que si l'eau trouve le moyen de s'insinuer dans quelques unes, l'entrée dans les autres lui soit encore interdite. Si cet usage a ses avantages, il a aussi ses inconveniens : Il embarasse la cale ; & comme il peut arriver outre cela dans les abordages, que la force du coup soit si grande, que toutes les cellules s'entrouvrent en même tems, il est sans doute toujours plus sûr d'avoir des pompes, pour s'en servir au besoin, au moins lorsqu'on navige sur notre Océan. Les quatre qu'on met ordinairement au pied du grand mât, sont renfermées par quatre cloisons dans le fond de cale, & ce retranchement se nomme *l'archipompe*.

On forme presque toujours les pompes d'une longue piece de bois (d'ormeau) qu'on taraude ou qu'on perce dans le sens de sa longueur, & le trou a quatre ou cinq pouces de diamètre. On voit dans la figure 30 une de ces pompes dont AB est le *corps* & AD est le *piston* ou *bâton*, dont j'ai représenté à côté l'extrémité inférieure en grand, que les Marins nomment *heuse* ; & S est la *soupape*, qu'ils nomment *clapet*. On voit en C une soupape ou *clapet*, qui ne s'ouvre aussi qu'en dessus & qui sert à retenir l'eau qu'on a déjà fait monter, & qui par les coups redoublés du piston, doit parvenir jusqu'à l'ouverture G par où elle sort. Cette soupape C est renfermée dans une autre boîte cylindrique nommée *chopine*. On remarquera que ces pompes ne sont absolument qu'*aspirantes* ; car lorsqu'on tire en haut le piston, la soupape S se ferme, il se fait une espece de vuide dans la pompe, & l'eau monte de la même maniere qu'elle entre dans une seringue dont on tire à soi le piston. L'eau en un mot est *aspirée* & elle ne peut pas retomber, parce que la soupape C qui lui a permis l'entrée lui refuse la sortie. Mais aussi-tôt que l'eau est parvenue assez haut, le piston commence à faire une nouvelle fonction : on ne peut pas le faire descendre sans qu'il n'atteigne l'eau & ne la puise. Cette eau en s'ouvrant la soupape S, passe au-dessus & vient vers l'ouverture G par le jeu du piston vers

Fig. 30

Fig. 30. le haut, pendant que d'autre eau en dessous remonte encore pour remplir le nouveau vuide. Quelquefois le levier ou la *brimbale* EF est appliquée immédiatement au piston, & soutenue par un des côtés du corps de la pompe, qui s'élève d'un pied ou d'un pied & demi; mais le plus souvent ce levier est suspendu en l'air à 9 ou 10 pieds de hauteur; & on applique à son extrémité F diverses cordes qui donnent la facilité à un grand nombre de Matelots d'agir ensemble. Cette disposition qui a d'abord été particulière aux Venitiens, en a pris le nom.

Tous les Lecteurs qui sont un peu initiés dans la Physique, savent que le jeu ou le mouvement HI du piston doit se faire à moins de 32 pieds de hauteur HB, au-dessus de la surface OL de l'eau. Si cette hauteur étoit un peu plus grande, l'air qui en s'appuyant sur la surface OL par son poids & qui en la comprimant par tout, excepté dans la pompe, doit la faire monter, n'auroit pas assez de force pour la soutenir jusqu'au piston ou pour la faire remonter encore. Ce n'est point ici le lieu d'expliquer de quelle manière s'exerce la pesanteur de l'air; comment on sait qu'elle est égale à celle d'une hauteur de 32 pieds d'eau, ni comment cette force, quoique si considérable & quoi qu'elle agisse sans cesse, ne se fait pas néanmoins sentir à nous, en nous pressant. Nous bornant à notre sujet, nous nous contenterons de dire que cette force fait monter l'eau dans une pompe & qu'elle ne le fait pas dans un tuyau placé verticalement & ouvert par les deux extrémités; parce que si elle comprime la surface de l'eau hors du tuyau, elle la comprime aussi & également dans le tuyau même, & l'empêche de monter. Il faut donc que le piston fasse par son jeu dans la pompe une espèce de vuide; mais ce n'est pas assez qu'il descende à moins de 32 pieds, il faut qu'il descende encore beaucoup plus bas; autrement l'eau après s'être élevée jusqu'à un certain terme, ne le passeroit pas, quoi qu'on pompât sans cesse, ou qu'on tint le piston continuellement en mouvement.

• Pour avoir un exemple de cet arrêt dans l'élévation de l'eau,

l'eau, on n'a qu'à supposer que l'eau est déjà parvenue jusqu'en K à seize pieds de hauteur, & que le piston par son jeu, ne reduise qu'à la moitié l'espace qui est au-dessus dans la pompe. C'est-à-dire, que si IH est le jeu du piston ou l'espace qu'il parcourt; nous supposons que l'espace HK qui reste au-dessous est égal à IH. Lorsque le piston descend jusqu'en H, tout l'air qu'il y avoit de trop dans l'espace IK sort par la soupape S; & il n'en reste qu'autant qu'il en peut entrer dans son état naturel dans l'espace KH. Mais aussi-tôt qu'on fait remonter le piston jusqu'en I, l'air extérieur se ferme lui-même le passage, en pressant la soupape S par dessus, & l'air intérieur qui occupoit HK doit s'étendre dans tout l'espace KI deux fois plus grand. Ainsi cet air deux fois plus dilaté, aura deux fois moins de ressort; car on sçait que l'air tend toujours à s'étendre, mais qu'il tend moins à le faire à mesure qu'il lui a déjà été permis de s'étendre davantage, & que sa force élastique, qui se met toujours en équilibre avec le poids qui le comprime, suit précisément la raison inverse de ses dilatations. L'air contenu en KI, au lieu d'avoir un ressort égal en force à la pesanteur d'une colonne d'eau de 32 pieds de hauteur, n'en aura donc que la moitié; & en faisant effort pour se dilater, il pressera par conséquent la surface K de l'eau qui est dans la pompe avec la même force que le feroit une colonne d'eau qui seroit au-dessus & qui auroit 16 pieds de hauteur. Mais cette pression étant ajoutée avec le poids même de la colonne d'eau KB qu'on a supposé de 16 pieds, le tout fait un effort équivalent à la pesanteur d'une colonne de 32 pieds; & puisque la pression que fait l'air extérieur ou l'Atmosphère sur la surface OL, est limitée à ce même poids, il est certain qu'elle pourra bien entretenir l'équilibre, & empêcher l'eau de retomber, mais non pas la faire monter d'une seule ligne plus haut. La pression de l'air extérieur, je le repete, tend à faire entrer continuellement de nouvelle eau par le bas de la pompe avec une force égale à la pesanteur de 32 pieds de hauteur d'eau; & il est vrai qu'il n'y a que 16 pieds d'eau en BK: mais

M

Fig. 30.

d'un autre côté l'air qui est en dessus dans l'espace KI, quoique dilaté, agit encore par son ressort avec une force de 16 pieds, & ce ressort joint avec le poids de la colonne BK, doit suspendre l'effet de la compression extérieure que forme continuellement l'atmosphère, sur OL. On redoublera inutilement les coups de piston; car en le faisant descendre & en l'élevant ensuite, on réduira l'air HK à son état naturel, & sur le champ on le rendra deux fois plus dilaté; ce qui ne fera jamais diminuer sa force élastique que de moitié, & la rendre égale au poids de 16 pieds d'eau.

Ce sera la même chose dans une infinité d'autres cas; l'eau s'arrêtera à une certaine hauteur; & il ne sera jamais difficile de déterminer *les points d'arrêt*, aussi-tôt que le jeu du piston sera *donné*, de même que sa hauteur au-dessus de la surface de l'eau. Lorsque l'eau s'arrête, il faut nécessairement, ainsi qu'on vient de le voir, qu'il y ait un équilibre parfait entre tout le poids de l'atmosphère d'un côté qui s'appuie sur la surface extérieure OL, & de l'autre le poids de la colonne d'eau BK qui tend à redescendre, aidée outre cela de l'effort que fait l'air qui est au-dessus en KI, pour se dilater encore davantage, & qui pousse en bas la colonne KB. Cet air dans son état naturel occupait l'espace HK; mais lors qu'on hausse le piston, il occupe tout l'espace KI. Pour sçavoir combien il a encore de force élastique, après sa dilatation, il n'y a qu'à faire cette analogie; KI est à HK, comme sa force élastique dans son état naturel, égale à la pesanteur d'une colonne d'eau de 32 pieds de hauteur, & que nous exprimerons par 32, est à $\frac{HK \times 32}{KI}$, pour l'effort que fait encore l'air KI.

Or ajoutant cet effort avec la pesanteur de la colonne BK qu'on peut exprimer par sa hauteur même, nous aurons $\frac{HK \times 32}{KI} + BK$ pour la force totale avec laquelle l'eau tend à sortir par le bas de la pompe. Mais elle en est empêchée par la pression de l'atmosphère sur la surface OL; & cette

pression étant exprimée par 32 pieds , nous aurons dans Fig. 30.
l'état d'équilibre l'équation $\frac{HK \times 32}{KI} + BK = 32$, & si on multiplie de part & d'autre par KI , il viendra $HK \times 32 + BK \times KI = KI \times 32$; & $BK \times KI (= KI \times 32 - HK \times 32) = IH \times 32$. Ainsi on voit que pour trouver le point d'arrêt K , ou que pour obtenir le cas de l'équilibre entre la pesanteur de l'atmosphère & la force totale avec laquelle l'eau tend à redescendre dans la pompe , il n'y a qu'à partager la plus grande élévation BI du piston en deux parties BK & KI qui soient telles que leur rectangle soit égal à celui de 32 pieds par l'étendue HI du jeu même du piston ; ce qu'on peut exécuter par une construction très-simple.

Le cas de l'équilibre a lieu lorsque $BK \times KI = IH \times 32$. Mais si au lieu de la première équation $\frac{HK \times 32}{KI} + BK = 32$, on suppose que l'effort extérieur que fait le poids de l'atmosphère pour élever l'eau dans la pompe , effort qui est exprimé par le second membre , est moindre que l'effort que fait l'eau pour descendre , poussée qu'elle est par l'air intérieur qui est au-dessus , on aura $\frac{HK \times 32}{KI} + BK > 32$ pour tous les cas où l'eau doit retomber ; & on en déduira $BK \times KI > IH \times 32$. On trouvera au contraire $BK \times KI < IH \times 32$ pour tous les cas où la pompe doit produire son effet en élevant l'eau. Or il suit de là qu'il suffit de déterminer le point d'arrêt indiqué par l'équation $BK \times KI = IH \times 32$, pour faire le partage entre les cas où la pompe élève l'eau & ceux où elle la laisse redescendre.

Ayant tiré une droite AB (Fig. 31.) pour représenter Fig. 31.
la hauteur de la pompe , & pris sur cette ligne l'espace HI pour représenter le jeu du piston dont HB marque la moindre hauteur au-dessus de la surface de l'eau & BI la plus grande ; il n'y a qu'à porter au-dessus du point I l'espace IM de 32 pieds. Si la pompe étoit destinée à servir sur les plus hautes montagnes , ou dans les cavernes les plus profondes , il ne faudroit pas faire IM de 32 pieds , mais de la
Mij

Fig. 31.

hauteur de la colonne d'eau qui fait équilibre avec la pesanteur de l'atmosphère dans ces endroits , ou qui est environ 14 fois plus grande que la hauteur du mercure dans le Baromètre. On décrira ensuite le demi-cercle HNM sur HM comme diamètre , & élevant la perpendiculaire IN au point I de BM , le quarré de cette perpendiculaire sera égal au rectangle du jeu HI du piston par 32 pieds. Ainsi pour diviser BI en deux segmens BK & KI dont le rectangle soit égal à celui de HI par 32 pieds ; il n'y a qu'à faire ce premier rectangle égal au quarré de IN. On tracera pour cela le demi-cercle IRB sur IB comme diamètre , & tirant Nr parallèlement à IB , & abaissant des points où cette ligne coupe la demie circonference IRB des perpendiculaires sur IB , on aura en K & en k deux points d'arrêt : car les rectangles de Bk par kI , ou de BK par KI seront l'un & l'autre égaux au quarré de KR ou de IN qui est égal au rectangle de HI par l'espace IM de 32 pieds. C'est-à-dire donc que lors qu'on fera agir la pompe , l'eau montera jusqu'en k , mais ne montera pas plus haut. Elle s'arrêtera également en K ; au lieu que dans tous les points d'entre deux , elle retomberoit. Au-dessus & au-dessous de l'espace kK la pompe doit élever l'eau , parce que $BK \times KI < IH \times 32$; au lieu que dans l'espace kK , elle doit être privée de son effet , & l'eau doit retomber ; parce que $BK \times KI > IH \times 32$. Plus le jeu IK du piston est grand , les autres conditions restant les mêmes , plus IN est grande & plus les points R & r deviennent voisins l'un de l'autre , de même que K & k. Mais si le jeu du piston étoit assez grand , ou si IB étoit assez petite , pour que NR ne coupât plus la circonference IRB ; alors il n'y auroit plus de point d'arrêt ni d'espace kK à craindre.

Nous pouvons de là inferer cette regle , que pour que l'effet de la pompe soit infailible , il faut que la moitié de BI soit moindre que IN ; ou ce qui revient au même , qu'il faut que le quarré de la moitié de la hauteur du piston , lorsqu'il est élevé , soit moindre que le rectangle de son jeu HI par 32 pieds ou par IM. Si le jeu du piston est de

deux pieds , le rectangle dont il s'agit , sera de 64 , & il faudra par conséquent que BI ne soit pas de 16 pieds. On pourroit pour plus de sûreté mettre la soupape C (Fig. 30.) tout-à-fait en bas du corps de pompe & faire en sorte que le piston vint y toucher. Alors la pompe ne manqueroit jamais : car lorsqu'on tireroit le piston en haut , ce ne seroit plus de l'air dilaté & capable d'un certain ressort qui se trouveroit au-dessous ; ce seroit du vuide ou de l'éther dont l'action ne doit pas être comptée & qui ne s'opposeroit point à l'élevation de l'eau. Mais d'un autre côté il faudroit travailler beaucoup en pompant , à cause de la plus grande colonne d'eau que le piston auroit à élever chaque fois : cette colonne auroit toute la hauteur CG. Une des principales attentions qu'on doit avoir c'est de remédier à la négligence des ouvriers qui s'occupent dans nos ports à construire ces instrumens. Ils les font toujours avec si peu de justesse , qu'il s'en faut souvent beaucoup que le piston ne remplisse exactement le corps de la pompe ; cela est cause qu'il faut verser l'eau dans l'espace AD afin d'interdire à l'air extérieur toute entrée , & il faut encore que les mouvemens des Matelots qui font agir le piston soient extrêmement vifs. On est obligé dans les meilleurs Vaisseaux d'avoir recours à la pompe de tems en tems , quelquefois d'heure en heure , quelquefois plus souvent ; exercice qui est si pénible que rien ne fatigue davantage l'équipage.

On gagneroit considérablement à faire les pompes avec plus de soin , à faire en sorte que les deux soupapes se fermaient exactement , & sur tout à donner assez de grosseur au bas du piston , pour que l'air ne trouvât point de passage autour. Il est vrai qu'il y auroit ensuite un plus grand frottement à vaincre ; mais les Matelots ayant la liberté de travailler plus à loisir , pourroient faire en trois ou quatre fois plus de tems , ce qu'ils sont obligés de faire maintenant en peu de minutes , & le travail dont il s'agit n'auroit plus rien de pénible. Quelques personnes ont cru qu'on pouvoit mettre sur les deux côtés du Vaisseau deux espe-

Fig. 31.

ces de Moulins , qui tournant par le choc de l'eau , pendant que le Navire fait sa route , fissent jouer les pompes. Il n'y a point de doute que ce moyen ne réussit , malgré quelques inconveniens considérables auxquels il seroit souvent sujet : dans le roulis ou dans les balancemens que le Navire fait d'un côté à l'autre , un des Moulins entreroit presque entierement dans l'eau , & l'autre en sortiroit. Outre cela le sillage en seroit considérablement retardé ; & il semble , lorsqu'un Navire reçoit ou *fait beaucoup d'eau* , qu'on doit s'attacher au contraire à rendre la vitesse de sa marche encore plus grande , afin de sortir plus promptement de péril.

C'est ce qui me fait soupçonner qu'au lieu de se servir de l'effort de l'eau pour faire agir les pompes , il vaudroit incomparablement mieux employer une autre force. Je ne sçai si on ne pourroit pas sans trop de difficulté appliquer sur la poupe en arriere de l'artimon une espece de Moulin à vent , ou avoir au moins toujours prêtes les pieces nécessaires pour en composer les volans ou les aîles ; & on les disposeroit dans les besoins pressans. Ces volans seroient placés à l'extrémité d'un axe coudé situé horisontalement , & une corde qui y seroit attachée & qui passeroit par quelques poulies pour changer sa direction , viendrait se rendre au-dessus de la pompe , & suspendroit le piston , lequel monteroit lorsque la corde le tireroit en haut , & descendroit au contraire par son propre poids ou par l'action de quelques Matelots , lorsque la corde se lâcheroit , pendant l'autre demi-tour de l'axe coudé. Cette machine , qui comme on le voit , est extrêmement simple , agiroit toujours & pourroit faire par la continuité & la durée de son exercice , ce qu'on ne réussit à faire chaque jour que par reprises , mais avec un travail sous lequel la plus grande force des hommes ne succombe que trop souvent.

CHAPITRE III.

Des Ancres & des Cables.

I.

NOUS ne prétendons pas expliquer généralement l'usage de tous les *appareaux* ; il suffit que nous parlions des plus considérables , & de ceux principalement sur lesquels nous avons quelques remarques à faire. Les cables & les ancres sont d'un usage indispensable , pour retenir le Vaisseau dans une rade , où il est quelquefois exposé à toute la fureur du vent & de la Mer. Chaque Navire a au moins cinq ou six cables de différentes grosseurs ; & pour regler celle du plus gros qu'on nomme ordinairement le *maître cable* , on lui donne de circonférence la vingt-quatrième partie de la largeur du Navire ; ou ce qui revient au même , on lui donne autant de pouces de circonférence , que la moitié de la longueur du maître bau contient de pieds. Supposé que le Vaisseau ait 48 pieds de largeur , on doit donner selon cette regle , 24 pouces de circonférence à son *maître cable* , & on ne lui en donneroit que 10 si le Navire n'avoit que 20 pieds de bau. Les cables suivans ont quelques pouces de moins de grosseur ; & cette grosseur se désigne toujours dans la Marine par la circonférence. En France , les cables les plus gros comme ceux qui le sont moins , ont également 600 pieds de longueur ou 120 brasses ; car la brasse est toujours prise pour une mesure de cinq pieds.

Il seroit presque toujours à propos que les cables fussent encore plus longs ; car on est souvent obligé d'en mettre plusieurs à l'extrémité l'un de l'autre par les raisons que nous expliquerons plus bas. Mais il est assez difficile de les faire d'une seule piece de plus de 600 pieds ou de 120 brasses. Les premiers fils dont ils sont formés sont plus

longs d'une moitié ; ils sont de 180 brasses , lorsqu'on veut que le cable soit de 120 ; de sorte qu'ils perdent un tiers de leur longueur , par la maniere dont on les tourne en les *cablant*. Il faudroit donc que les premiers fils fussent plus longs à proportion , si on vouloit donner plus de longueur aux cables ; & cette longueur feroit naître dans l'exécution diverses difficultés.

* Les Cordiers sont intéressés à faire entrer trop de gaudron dans leurs cables, parce qu'ils vendent ensuite cette matière au poids, le même prix que le chanvre, quoi qu'elle leur coûte moins.

Une remarque qui peut servir dans différentes rencontres, c'est que le poids en livres d'une brasse de cordage est à peu près la cinquième partie du quarré de sa grosseur exprimée en pouces. Cette regle sera toujours assez exacte ; principalement lorsque le cordage sera bien fait & ne sera pas trop chargé de gaudron. * Pour sçavoir, par exemple, combien pese une brasse ou une piece de 5 pieds de long, d'un cable qui a 24 pouces de circonférence, il n'y a qu'à multiplier 24 par 24 ; & en prenant la cinquième partie du produit, on aura $115\frac{1}{5}$ livres pour la pesanteur de cette piece ; & tout le cable qui est 120 fois plus long pesera donc 13824 livres. Si le cable a 10 pouces de circonférence, un morceau d'une brasse pesera par la même raison 20 livres, qui est la cinquième partie du quarré de 10 ; & le cable entier pesera par conséquent 2400 liv. On peut aussi trouver immédiatement ce dernier poids, en multipliant le quarré de la grosseur toujours par 24.

I I,

Fig. 32.

Les cables ne sont utiles que par le moyen des ancres, dont on voit la forme dans la figure 32, qui les rend propres à s'engager dans le sable ou dans la vase du fond de la Mer. Les ancres en France, en Angleterre & en Hollande ne sont que de fer forgé ; mais on en voit souvent de bronze en Espagne, de même que dans les Ports de la Mer du Sud. La partie AD se nomme la *verge* à l'extrémité de laquelle il y a une boucle ou *organeau* E. Les deux bras sont AB & BC, & les parties KC & IB sont les *patte*s. On place toujours perpendiculairement à l'extrémité D de la verge & dans le sens perpendiculaire aux bras

bras une piece de bois FG qui est de même longueur que la verge, & qui sert à faire tomber infailliblement l'ancre sur une de ses pattes; on nomme cette piece de bois le *jas*. Les deux bras forment ordinairement un arc de cercle dont le centre H est aux trois huitièmes de la verge, à commencer du point A; & chaque bras est aussi égal aux trois huitièmes de la verge, ou est égal au rayon; de sorte que les deux ensemble forment un arc de 120 degrés. Les pattes ont de longueur la moitié de celle des bras & leur largeur est les $\frac{2}{3}$ de la longueur du même bras. A l'égard de la grosseur, on donne ordinairement de circonférence à la verge dans son *encolure* en A, & c'est la même chose aux bras à leur naissance, la cinquième partie de sa longueur; vers l'autre extrémité, on ne donne à la verge que les deux tiers de cette grosseur, & chaque bras en a les trois quarts auprès de sa patte. Ces dimensions doivent être un peu augmentées, lorsque le fer n'est pas de bonne qualité; & elles devroient l'être beaucoup plus, si au lieu de fer forgé dont on se sert toujours, on vouloit se servir de fer fondu.

Lorsque les proportions précédentes sont observées, une ancre de $16\frac{3}{4}$ pieds de longueur pèse environ 7000 livres: je dis environ, parce que l'ouvrier en n'affoiblissant que très-peu certaines parties, ou en leur donnant un peu plus de force, peut faire varier considérablement le poids. Mais si toutes les ancres sont semblables, comme on tâche de les faire, leur pesanteur doit suivre la proportion du cube de leur longueur. Pour trouver cette pesanteur en livres par un moyen assez commode, il n'y a qu'à mesurer la longueur de l'ancre en pouces, prendre le cube de cette longueur, & le diviser toujours par 1160. Ainsi supposé que la verge de l'ancre ait 10 pieds de longueur ou 120 pouces, il n'y a qu'à diviser 1728000 qui est le cube de 120 par 1160, & il viendra 1545 livres pour la pesanteur de l'ancre dont il s'agit. Lors qu'au lieu de connoître la longueur, on connoitra la pesanteur en livres, il n'y aura qu'à la multiplier toujours par 1160 & extrayant la racine

N

cubique du produit , on aura la longueur de l'ancre exprimée en pouces.

Pour faire ces deux opérations avec plus de facilité , il n'y a qu'à tripler le Logarithme du nombre des pouces de la longueur de l'ancre & en retrancher toujours le nombre constant 3.0644580, pour avoir le Logarithme du nombre de livres que pese l'ancre. Lorsqu'au contraire la pesanteur de l'ancre sera donnée en livres , il n'y aura qu'à ajouter toujours à son Logarithme le nombre 3.0644580, & prenant le tiers de la somme , il viendra le Logarithme de la longueur de l'ancre en pouces.

Les moindres Vaisseaux ont cinq ou six ancres , & les plus grands en ont ordinairement huit. On a dans la Marine diverses regles pour déterminer la grandeur de celles qui doivent servir à chaque Navire. Pour des raisons qui regardent la commodité de la manœuvre , on ne peut guères donner de longueur à la plus grosse ou à la *maîtresse ancre* pour parler comme les Marins , que les $\frac{1}{3}$ du bau , & on s'en est fait une regle. Une autre maxime , mais qui ne s'accorde pas avec la premiere , comme nous le montrerons dans un instant , c'est que l'ancre ait de pesanteur la moitié de celle du cable. Ainsi pour les Vaisseaux du premier rang qui ont 48 pieds de bau , & dont le cable a 24 pouces de circonférence , & pese 13824 livres , la maîtresse ancre doit peser 6912 livres , & les autres ancres doivent de même avoir la moitié du poids du cable auquel on les applique. La plus petite des ancres est celle qui sert à *toïer* , ou celle qui sert de point fixe dans une Rade , ou dans un Port , pendant qu'on fait avancer le Navire en tirant sur un cordage appliqué à cette ancre. L'ancre à *toïer* a le tiers de la pesanteur de la maîtresse ancre ; de sorte que dans les Vaisseaux du premier rang , elle doit peser environ 2300 livres & avoir environ 11 pieds 7 pouces de longueur.

Il est très-facile de reconnoître que les deux regles que nous venons d'indiquer , ne peuvent pas se concilier ; & cependant on les joint tous les jours l'une à l'autre , comme si

elles donnoient le même résultat , sans que l'expérience qui devoit suffire pour détromper les Marins sur cette prétendue conformité , les en ait fait apercevoir. Lors qu'on donne de longueur à la plus grosse ancre, les $\frac{1}{8}$ du bau ou de la largeur du Navire , la pesanteur de l'ancre est proportionnelle à la solidité des Vaisseaux supposés semblables. Si le Navire est deux fois plus large , l'ancre pesera 8 fois davantage. Mais selon la seconde regle la pesanteur de l'ancre est la moitié de celle du cable ; & la pesanteur du cable est seulement proportionnelle au quarré du bau ; puisque la seule grosseur du cable est différente dans les grands & dans les petits Navires , & que le cable a toujours la même longueur (120 brasses). Lorsque le Navire est donc deux fois plus large , le cable est simplement quatre fois plus pesant , & la pesanteur de l'ancre qui n'est aussi plus grande que dans le même rapport , est par conséquent deux fois moindre que selon la premiere regle. Cette excessive disconvenance n'eût pas sans doute échappé à l'attention des Marins , sans qu'on se contente toujours dans la Marine d'observer grossièrement l'une & l'autre regle , & qu'on a attribué à ce défaut d'observation , les différences qu'on aura quelquefois apperçues.

Quoique la seconde regle rende les ancres beaucoup moins pesantes dans les grands Vaisseaux , on peut néanmoins s'y conformer ; parce que cette pesanteur est suffisante , aussi-tôt que le fond dans lequel l'ancre doit s'engager , n'est pas de pur sable fin & qu'il est mêlé de terre & de vase. Lorsque le fond est mauvais , on a le soin d'employer plusieurs ancres , & quelquefois on garnit leurs pattes avec des planches qui en s'engageant dans le sable ou dans la vase , forment une plus grande résistance ; c'est ce qu'on nomme les *empeneler*, quoi qu'on employe plus souvent ce nom , lors qu'on met deux ancres à la suite l'une de l'autre. On charge aussi quelquefois l'ancre ou l'extrémité inférieure du cable de divers poids ; & enfin ce qui est beaucoup plus ordinaire , & ce qui réussit presque toujours , on met plusieurs cables bout à bout. Ils frottent sur le fond

dans presque toute leur longueur , à cause de leur grande pesanteur ; & ce frottement est cause qu'il ne tombe sur l'ancre qu'une partie beaucoup moindre de l'effort que fait le Navire. On ne *moïille* , ou on ne jette l'ancre que dans les endroits où la Mer n'a guere que 40 brasses de profondeur ; & encore est-il à propos aussi-tôt que la profondeur de la Mer approche de ce terme , de mettre toujours deux cables bout à bout l'un de l'autre ; si on n'en mettoit qu'un , sa partie inférieure ne s'appuyeroit presque point sur le sol , & l'ancre seroit obligée de soutenir toutes les secousses qui se transmettroient jusqu'à elle. Elle ne se dégageroit pas entierement du fond , mais elle le laboureroit , ou elle *chasseroit* pour parler en terme de Marine ; & le Navire pourroit aller se perdre sur les premiers écueils.

Fig. 33. La figure 33 doit rendre tout ceci plus sensible. AD est l'ancre au fond de la Mer ; & DMN est le cable qui retient le Vaisseau dont nous n'avons représenté que la prouë ; on voit en N le trou ou l'*écubier* par lequel passe le cable pour entrer entre les deux ponts inférieurs. Le cordage AB appliqué à l'encolure ou à la croisée A , se nomme l'*orin* qui sert quelquefois à lever l'ancre , à la lever par les cheveux & qui sert aussi à retenir la *boïée* ou le tonneau vuide S qui indique l'endroit où il faut chercher l'ancre. Mais pour revenir à ce que nous disions de la longueur du cable , il est clair que si cette longueur est deux ou trois fois plus grande , l'ancre ne sera tirée qu'horizontalement & le sera d'ailleurs avec moins de force , parce que l'effort sera diminué de tout le frottement que souffre la partie DM contre le fond. Ce sera précisément la même chose , que lors qu'une longue corde traîne sur la terre ; il ne faut à son extrémité qu'une très-petite pierre pour la retenir , lors qu'on la tire par l'autre bout ; parce que la seule résistance que fait la terre au mouvement de la corde , forme déjà un très-grand obstacle.

Un second avanrage , lors qu'on met plusieurs cables au bout les uns des autres , c'est qu'ils se trouvent moins exposés à se rompre. Comme ils sont situés plus horizontale-

ment dans toutes leurs parties , leur force s'oppose plus efficacement ou plus directement au mouvement du Navire produit par le choc des vagues : au lieu que lors que le cable est moins long , il se trouve plus vertical , & il faut qu'il résiste davantage ; parce qu'une plus grande partie de sa résistance se trouve perdue. Supposé que l'espace LO représente la force avec laquelle le Vaisseau tend à reculer , & qu'on acheve le rectangle LOPQ qui ait la portion LP du cable pour diagonale & qui soit formé par les deux lignes horizontales LO , PQ & les deux verticales OP ; LQ , la diagonale LP représentera l'effort que le cable doit soutenir , & on voit qu'elle est plus grande que OL , & que plus le cable approche d'être vertical , plus elle augmente , quoique OL ne change pas. Il est donc évident que le cable plus court , est chargé d'un plus grand effort , & doit être plus gros & plus fort ; car s'il n'avoit que la même grosseur , il ne fourniroit que la même résistance , selon sa propre direction ; & il n'en fourniroit pas assez dans le sens horizontal , selon lequel le Navire tend à s'éloigner. Il n'est question , il est vrai , que de résister à l'effort horizontal OL ; mais le cable , à cause de son inclinaison , ne peut résister à cet effort , qu'en fournissant assez de force , pour soutenir tout l'effort PL.

Fig. 33:

Le cable est encore moins exposé à se rompre lorsqu'il est plus long , parce qu'il est plus capable de s'étendre ; & que cette nouvelle extension suffit souvent pour différer sa rupture & pour l'éviter , en donnant le tems à l'effort que fait le Navire de s'épuiser ou de s'amortir. Un cable plus court n'étant pas capable d'un nouvel allongement , doit nécessairement se rompre aussi-tôt qu'il est exposé à un effort trop grand , parce qu'il faut qu'il soutienne tout cet effort & tout à coup : au lieu que le cable deux ou trois fois plus long s'allonge de plusieurs toises avant qu'il y ait rien à craindre de sa part : il fait cependant de la résistance en s'allongeant , sa force élastique est mise en action , & la secousse du Navire est souvent détruite , & son effort consommé peu

Fig. 33. à peu, avant que le cable soit parvenu à son dernier terme d'extension. Ainsi le cable, principalement lorsqu'il est très-long, est comme une espece de ressort dont une partie de la force consiste à ceder avec facilité & à se remettre dans son premier état, aussi-tôt que rien ne s'y oppose.

Enfin on peut éviter la perte du Vaisseau par un dernier endroit, lorsqu'on met plusieurs cables à l'extrémité les uns des autres. Non-seulement l'ancre est moins sujette à *chaffer*, non-seulement le cable est moins sujet à se rompre; mais il y a encore moins à craindre pour le Vaisseau même, lorsque les premiers accidens n'arrivent pas, & que cependant la Mer est extrêmement agitée. Plus l'eau pousse le Navire dans le sens horisontal selon PQ ou OL, plus le cable est obligé de résister dans le sens de sa direction. Mais la résistance qu'il fait, se décomposant, le Navire se trouve tiré en bas en même tems par la force relative verticale OP ou LQ; & cette force est quelquefois assez grande, pour faire plonger entierement la prouë. Cette force verticale qui est si redoutable & que divers Marins n'ont que trop expérimentée sans la connoître, doit augmenter ou diminuer, selon que les vagues frappent le Navire avec plus ou moins de force; c'est-à-dire, que plus la prouë est frappée par les vagues plus elle se plonge. Il est clair aussi que ces deux forces sont égales, la verticale PO & l'horizontale PQ, lorsque le cable fait avec l'horison, en entrant dans le Vaisseau, un angle de 45 degrés: Si le cable au contraire est beaucoup plus long & plus couché, la force verticale qui dépend de l'autre, se trouvera beaucoup plus petite, elle sera peut être trois ou quatre fois moins grande; & alors il y aura beaucoup moins à craindre.

Il ne reste plus qu'à dire un mot de la maniere dont le cable est arrêté dans le Navire. On pourroit penser qu'il l'est principalement par un nœud fait avec beaucoup de soin. Il est vrai que son extrémité est *amarée* en bas, crainte de tout événement, dans l'endroit même du fond de cale où on le serre; il est vrai encore qu'il est saisi par diverses

cordes d'une mediocre grosseur qu'on nomme *bosses* & qu'on *fouète* dessus, ou dont on l'entoure de distance en distance : mais il est principalement retenu par *les bittes* qui sont deux pieces de bois verticales traversées par une troisième placée horisontalement ; & il est arrêté par son frottement contre ces pieces de bois , sur lesquelles il fait quelques tours en les entrelassant. Tel est l'effet de la roideur du cable qui ne se plie qu'avec une extrême difficulté , à cause de sa grosseur , & qui ne pourroit glisser qu'en se pliant davantage. On juge assez que *les bittes* doivent être arrêtées fortement ; & c'est pour cela qu'on les fait descendre jusqu'au fond du Vaisseau.

CHAPITRE IV.

De la maniere dont les Rames agissent.

QUELQUE simple que soit l'action des Rames , il n'est pas aisé de l'expliquer ; je ne sache pas que depuis qu'Aristote s'y est trompé dans ses Problèmes , on ait donné jusques à present une explication entierement exacte de la Mécanique de cet instrument. Le Lecteur ne se convaincra aussi que trop que cette matiere contient des questions extrêmement embarrassantes , que personne n'a examinées jusques à present , & qu'on ne peut les accommoder à notre portée qu'en éludant une partie de leurs difficultés ; tant il est vrai qu'il ne faut pas toujours juger des choses à la premiere vûe. On ne s'est point servi de rames dans les plus grands Navires ; on ne les a employées que dans les plus petits ; mais comme elles sont tellement propres à la Navigation , qu'on ne les trouve nulle autre part , nous ne croyons pas devoir les obmettre dans l'énumération , quoique succinte , que nous entreprenons de faire des Appareux. On peut se dispenser d'en faire la description , puisque tout le monde en connoît la figure ; ainsi on

commencera par examiner à quelle espece de levier on doit les rapporter.

I.

C'est le Rameur qui fournit la force motrice ; l'endroit de la rame qui porte sur le bord du Navire , est immobile , & la pale en frappant l'eau , trouve une résistance que le Rameur ne sent que trop. Ainsi il paroît que dans la premiere action , ou que pour comparer l'effort du Rameur avec la résistance que trouve la pale , en choquant l'eau , il faut considerer la rame comme un levier de la premiere espece , ou comme un levier dont l'hypomoclion ou le point d'appui , est entre la puissance & le fardeau. La pale doit avancer contre l'eau , en la frappant avec plus de vitesse , jusqu'à ce qu'il se trouve équilibre , entre la résistance qu'elle éprouve & l'effort du Rameur. Si les deux parties de la rame sont de même longueur , la partie qui est en dedans de la Galère & celle qui est en dehors ; la résistance ou l'impulsion de l'eau sera égale à l'effort du Rameur : Si la partie extérieure est deux fois plus grande , comme elle l'est souvent , il faudra en recompense que le Rameur fasse deux fois plus d'effort. Sachant par conséquent la longueur des deux parties de la rame , & l'effort que fait le Rameur , il est toujours facile de découvrir avec quelle force la pale rencontre l'eau.

Si le Rameur avoit un point fixe en l'air , s'il étoit possible qu'il se soutint au-dessus de la Galère sans y toucher , nous convenons bien qu'il faudroit alors considerer son action comme appliquée à un levier de la seconde espece ; ainsi que l'ont voulu le P. Fournier & plusieurs autres personnes. La résistance de l'eau contre la pale fourniroit le point d'appui , pendant que le fardeau seroit représenté par le bord du Navire qu'il s'agiroit de faire avancer ; de sorte que l'action du Rameur se trouveroit avoir d'autant plus d'énergie ou de moment que toute la rame seroit plus longue par rapport à sa partie extérieure. C'est ce qui arriveroit , nous le repetons , si le Rameur avoit une position
stable

stable en l'air : au lieu que l'explication n'est plus admissible aussi-tôt que le Rameur est soutenu par la Galère & y tient ; on peut s'en convaincre aisément en l'obligeant d'exercer toutes ses forces sur l'endroit même de la rame qui porte sur le bord ou sur *l'apostis*. Car bien loin que son action ait son effet entier comme dans le levier de la seconde espece , lorsque la puissance & le fardeau sont à la même distance du point d'appui , elle n'en aura absolument aucun , ou pour faire avancer le Navire ou pour faire remuer la rame. Démonstration incontestable que le point d'appui ou l'hypomoclion , au lieu d'être à l'extrémité de la rame , est dans le point où elle porte sur le flanc de la Galère , & que le levier est de la premiere espece.

Mais on ne fait agir la rame que pour faire avancer le Navire. Comment ce second effet se produit-il ? il n'y a plus maintenant de levier à considerer. Le Rameur étant tourné vers la poupe , tire à lui le bout de la rame , en se renversant & en se jettant vers la prouë ; & la pale avance en même tems vers l'arriere , en choquant l'eau avec force. Nous en sommes restés à ce choc , qui est précisément le même que si la pale étant immobile , l'eau venoit la rencontrer du côté de la poupe. Or toutes les impulsions que reçoivent en même tems les rames agissent dans le même sens ; toutes les pales sont poussées en même tems vers l'avant , & l'impulsion se communiquant à la Galère , elle doit avancer & accélérer sa vitesse , tant qu'elle est plus poussée par cette action de l'eau contre les rames , qu'elle n'est retardée par le choc de l'eau contre sa prouë. Quand le mouvement est une fois uniforme , il y a équilibre ou égalité entre ces deux forces ; c'est-à-dire , que la résistance de l'eau contre la prouë , ne retranche ni de plus grands ni de moindres degrés de la vitesse du sillage , que ceux que tend à y ajouter le choc de l'eau contre les rames qui se fait en sens contraire. Il suit de tout cela qu'on peut diviser toute la Mécanique de la rame en deux actions. La rame est un levier de la premiere espece , tant qu'il s'agit de comparer l'effort du Rameur avec la force

de l'impulsion de l'eau sur la pale, & c'est ce qu'avoit vu Aristote. Mais cette impulsion s'exerce ensuite toute entière à faire avancer la Galère sans l'intervention d'aucune machine qui l'altère : c'est précisément la même chose que si l'eau venoit de vers la poupe, choquer les rames en les poussant de l'avant ; & il est évident que cette impulsion doit avoir son effet.

Fig. 34. Dans la figure 34 le bord du Navire est représenté par AB. Le Rameur en tirant de F en f le bout de la rame FE, fait que la pale DE, en prenant la situation De, est choquée par l'eau, comme si l'eau venoit la fraper selon la direction CG ; & il y a équilibre de part & d'autre de l'apostis D, entre l'effort du Rameur & l'impulsion que reçoit la pale. Cependant il faut remarquer qu'il y a une partie de la force du Rameur perdue, & qui n'entre pas dans cet équilibre dont nous parlons. C'est la force qui est occupée à mouvoir la rame même. Ce retranchement étant fait, il n'y a qu'à multiplier l'effort du Rameur par la distance au point d'appui D, & on aura son moment qui sera parfaitement égal à celui de l'impulsion de l'eau sur la pale, ou au produit de cette impulsion par la distance du centre dans lequel elle se réunit à l'hypomoclion. D'un autre côté cette impulsion que souffre la rame est égale à la résistance de l'eau contre la proue ; mais il faut faire réflexion que la rame n'agit que par reprise, au lieu que la résistance que fait l'eau contre la proue est continuelle. Le mouvement uniforme d'une Galère, est donc un mouvement qui s'accélère à chaque coup de rame, & qui se ralentit dans l'intervale suivant. Mais comme la somme des petites accélérations est égale à celle des petits retardemens, il se trouve toujours un parfait retour ou une parfaite égalité dans chaque accélération successive, de même que dans chaque retardement.

L'action des Rameurs dans les Galères, peut se diviser à peu près en trois tems égaux, & il n'y en a qu'un qui est employé à fraper l'eau avec la pale. C'est-à-dire, que l'intervale entre les *palades* ou les coups de rames, est à peu près dou-

ble de la durée de chaque *palade*. Or comme l'impulsion de l'eau sur les pales doit être égale à la somme de toutes les résistances de l'eau contre la proue, ou comme il faut que l'impulsion de l'eau sur les pales pendant une seconde, par exemple, réstitue à la vitesse de la Galère tout ce que lui a fait perdre la résistance de l'eau contre la proue pendant trois secondes, il s'ensuit qu'il n'y a pas d'équilibre entre les deux forces dans chaque instant; mais seulement lorsqu'on les considère chacune pendant la durée entière de leur exercice. Il n'est pas difficile de s'assurer que l'action simultanée de tous les Rameurs est avantageuse; & qu'on perdrait quelque chose s'ils agissoient les uns après les autres, afin de pousser la Galère sans aucune interruption. Cependant on peut toujours supposer, à ce que je crois, pour rendre l'examen de ces choses plus facile, que l'action est distribuée également dans toutes les parties du tems, afin d'avoir un équilibre actuel & continuel entre l'impulsion de l'eau sur les pales & la résistance de l'eau contre la proue. De trois secondes il n'y en a effectivement qu'une d'employée utilement à procurer la vitesse du sillage; mais toute la Chiourme agit à la fois: au lieu de cela il n'y a qu'à feindre qu'elle est divisée en trois classes, & qu'il y en a toujours une qui agit dans chaque seconde, sans laisser aucune partie de tems oisive.

On peut par la force avec laquelle travaille le Rameur, juger de la grandeur de l'impulsion que reçoit la pale, comme nous l'avons déjà dit: mais on peut aussi déterminer la grandeur de cette impulsion d'une manière immédiate, parce qu'on sçait de quelle action est capable l'eau lorsqu'elle frappe ou qu'elle est frappée avec une vitesse connue. Il faut seulement faire attention que cette vitesse n'est pas celle que le Rameur réussit à donner à la partie extérieure DG, & qu'il faut en retrancher la vitesse du sillage. Car pendant que la rame passe de la situation FE à la situation fe, la Galère avance peut être de la quantité Dd; la rame au lieu de se trouver dans la situation fe, se trouve en ϕe , & au lieu de choquer l'eau avec la vitesse Gg, ne le fait qu'a-
O ij

Fig. 34.

Fig. 34. vec la partielle $G\gamma$. Il se presente ensuite une remarque extrêmement importante : c'est que cette vitesse partielle $G\gamma$ est toujours une partie déterminée de Gg ou de la vitesse totale du centre G , de celle qui repond à la vitesse Ff du Rameur ; & que le rapport de l'une à l'autre dépend de celui qu'il y a entre la surface de la prouë & l'étendue de toutes les pales. Si la Galère va deux ou trois fois plus vite , sa prouë étant frappée par l'eau avec une vitesse deux ou trois fois plus grande & qui sera toujours représentée par Dd ou $g\gamma$ recevra beaucoup plus d'impulsion , on trouvera beaucoup plus de résistance : mais puisque cette résistance doit être égale au choc de l'eau contre les rames , il faudra que la vitesse $G\gamma$ avec laquelle se fait ce choc , soit aussi deux ou trois fois plus grande. Ainsi c'est un Théoreme ou un Lemme auquel on peut avoir recours & qui doit être souvent d'usage ; que *quelque soit la vitesse Gg que le Rameur imprime au centre d'effort G de la pale , la vitesse γg que reçoit la Galère , & la vitesse restante $G\gamma$ avec laquelle la rame frappe l'eau , ont toujours entr'elles le même rapport.*

I I.

On est en état de distinguer maintenant les attentions qu'on peut avoir , de celles qu'on peut négliger dans la résolution de plusieurs Problèmes qui se présentent sur ce sujet , & qui n'ont point été assez examinés , quoiqu'ils soient aussi curieux qu'utiles. Une rame étant donnée , on demande s'il faut l'appuyer par son point de milieu D , comme l'ont cru quelques personnes , pour que le Rameur produise le plus grand effet possible ? On a de fortes raisons d'en douter ; car si on rend la partie extérieure DG plus longue , & supposé que le Rameur ne travaille toujours qu'à lui faire parcourir le même espace Gg qu'auparavant , il ne sera point obligé d'en parcourir de son côté un si grand Ff : & ne se donnant pas de si grands mouvemens , il aura plus le tems d'insister , & d'exercer toute sa force , dont il faut effectivement qu'il déploye , pour ainsi dire , une plus grande partie dans chaque partie de l'espace , mais il en aura la facilité en agissant plus lentement. C'est ce

qui est aussi en quelque façon justifié par l'expérience ; Fig. 34.
 puisque pendant que la partie intérieure de la rame est de 12
 pieds de longueur , on fait ordinairement la partie exté-
 rieure de 24 dans les Galères. Après tout il faut avouer que
 nous ne pouvons pas résoudre la question d'une manière
 utile pour la pratique , à cause de la trop grande généralité
 dans laquelle nous serions obligés de la laisser. Nous nous
 trouvons principalement arrêtés ; parce que nous ne sçavons
 pas la relation qu'il y a entre les diverses vitesses avec les-
 quelles le Rameur peut travailler , & la force qu'il peut
 employer. Il seroit de la dernière importance dans plusieurs
 autres rencontres de connoître ce rapport , de connoître
 combien la force des hommes diminue , lorsqu'ils sont
 obligés d'agir avec plus de promptitude ; & c'est ce que
 l'Anatomie , quoi qu'extrêmement aidée de la Géométrie
 dans ces derniers tems , ne nous a point encore appris. On
 peut exprimer cette relation par les co-ordonnées d'une
 ligne courbe dont quelques uns des symptomes se presen-
 tent aisément ; mais cela n'empêche pas qu'elle ne soit
 également inconnue.

I I I.

Un autre Problème plus facile & qui a aussi un rapport
 plus immédiat à nos besoins , c'est lorsque la force du Ra-
 meur & la vitesse avec laquelle il peut agir , sont *données*
 & qu'on demande les dimensions les plus avantageuses de
 la partie extérieure de la rame. La longueur de la partie
 intérieure doit être réglée sur la largeur du bâtiment & sur
 le plus grand espace que le Rameur peut parcourir en se
 renversant après s'être panché en avant. Mais ce n'est plus
 le même cas que lorsque les dimensions de la rame étoient
 données ; car il est certain qu'il y a ici à gagner tant qu'on
 peut racourcir la partie extérieure. La pale étant plus voi-
 sine du point d'appui , il faut qu'elle soit plus grande , &
 que son choc contre l'eau le soit aussi , pour faire équilibre
 avec l'effort du Rameur qui est toujours le même ; or aussi-
 tôt que la pale choque l'eau avec une force totale ou abso-

Fig. 35. lue plus grande , la Galère ne peut pas manquer d'aller plus vite. Supposé que Ff (Fig. 35.) soit le plus grand espace qu'on puisse faire parcourir à l'extrémité F , le centre d'effort G de la pale parcourra en même tems l'espace Gg : & il est clair que plus on racourcira DG , plus il faudra donner d'étendue à la pale ; autrement l'impulsion qu'elle recevrait en choquant l'eau avec moins de vitesse & qui seroit appliqué outre cela à un bras de levier moins long, ne seroit pas capable d'épuiser l'effort des Rameurs qui est constant. Si la partie extérieure DG est trois ou quatre fois plus courte , il faut augmenter la pale dans un assez grand rapport pour qu'elle reçoive trois ou quatre fois plus de choc absolu. Mais les rames étant ainsi poussées par l'eau avec une force trois ou quatre fois plus grande , la Galère doit nécessairement aller plus vite ; elle doit accélérer sa rapidité jusqu'à éprouver aussi trois ou quatre fois plus de résistance du côté de la prouë. On seroit invité par conséquent à racourcir sans cesse la partie extérieure de la rame , afin de pouvoir augmenter l'étendue de sa pale , sans qu'il y a un terme qui arrête. Si pendant l'action des Rameurs , la Galère passe de D en δ , en parcourant l'espace D δ égal à Gg , la rame se trouvera dans la situation $\phi\delta G$, lorsque le Rameur ne croyoit l'avoir mise que dans la situation fDg ; & le centre d'effort G n'ayant réellement aucune vitesse pour fraper l'eau , on ne pourroit suppléer à ce défaut qu'en faisant la pale infiniment large. Alors la partie extérieure de la rame seroit donc parvenue au terme de sa moindre longueur & à la disposition la plus avantageuse , à laquelle il est vrai qu'on ne peut pas atteindre , puisqu'il n'est pas possible de donner à la pale une largeur infinie. Cependant comme il est toujours à propos d'avoir en vûe ce *minimum* de la longueur qui procureroit le *maximum* de la rapidité du sillage , nous allons tâcher de le déterminer.

Supposons que l'effort des Rameurs distribué dans toutes les parties du tems & appliqué immédiatement à la Galère sans le secours d'aucune machine , lui fasse parcourir

l'espace Dd ; c'est-à-dire que les Rameurs étant à terre & tirant la Galère par une corde avec le même force qu'ils employent sur les rames, elle parcourt dans le tems déterminé cet espace Dd . L'effort des Rameurs doit être exprimé par le quarré de cet espace: car la résistance que trouve un corps à fendre un milieu, est quatre fois ou neuf fois plus grande, lorsqu'il se meut deux ou trois fois plus vite. Cette résistance est proportionnelle au quarré de la vitesse, comme on le montrera dans le troisième Livre; & la force destinée à vaincre cette résistance doit suivre le même rapport. On a donc \overline{Dd} pour l'effort absolu ou actuel des Rameurs, appliqué à l'extrémité F du bras FD de levier; & pour sçavoir l'impulsion de l'eau en G contre la rame qui est capable de faire équilibre avec cet effort actuel, on n'a qu'à faire cette analogie, DG est à DF , comme \overline{Dd} est à $\frac{DF \times \overline{Dd}}{DG}$ pour l'action absolue de l'eau contre la pale. Mais on souhaite que cette impulsion soit telle, qu'elle imprime à la Galère une vitesse $D\delta$ qui soit égale à celle Gg du centre d'effort de la pale: car on veut que la Galère aille si vite, que la pale ne choque point l'eau & qu'elle ne fasse que s'appuyer contre; puisqu'on se propose de déterminer la moindre longueur de la partie extérieure DG . Or la rame en s'appuyant contre l'eau en G avec la force absolue $\frac{DF \times \overline{Dd}}{DG}$ doit donner à la Galère une vitesse exprimée par la racine quarrée $Dd \sqrt{\frac{DF}{DG}}$ de cette force; par la même raison que l'effort absolu \overline{Dd} des Rameurs, appliqué immédiatement à la Galère, ne lui faisoit prendre que la vitesse Dd . Ainsi on a $Dd \sqrt{\frac{DF}{DG}} = D\delta$; & il ne resteroit donc plus qu'à connoître $D\delta$ pour pouvoir obtenir le rapport de DF à DG . Mais le triangle $DG\delta$ étant semblable au triangle FDf , on a cette analogie; DF est à Ff comme DG est à $D\delta$ ou à $Dd \sqrt{\frac{DF}{DG}}$ & l'équation Dd

Fig. 35

Fig. 35. $\times DF \sqrt{\frac{DF}{DG}} = Ff \times DG$ qui élevée au quarré donne $\overline{Dd} \times$

$\frac{\overline{DF}}{DG} = \overline{Ff} \times \overline{DG}$; & si on multiplie de part & d'autre par

DG , & qu'on divise par \overline{Ff} , on aura $\overline{DG} = \frac{\overline{Dd} \times \overline{DF}}{\overline{Ff}}$, dont

on tire $DG = DF \times \left| \frac{\overline{Dd}}{\overline{Ff}} \right|^{\frac{1}{3}}$; & c'est ce qu'on vouloit découvrir.

Plus on aprochera du terme indiqué par cette formule en racourcissant la partie extérieure de la rame, plus il faudra élargir la pale ou augmenter sa surface comme nous l'avons vû il n'y a qu'un moment, & plus la Galère ira vite, quoique les Rameurs n'employent que la même force & n'agissent qu'avec la même vitesse. Ainsi c'est sur la plus grande étendue qu'on peut donner commodement à la pale, qu'on doit tout régler. Au surplus la formule $DG =$

$DF \times \left| \frac{\overline{Dd}}{\overline{Ff}} \right|^{\frac{1}{3}}$ nous fournit quelques remarques très-utiles que la pratique & le long usage n'ont pas, à ce que je crois, encore suggerées, & qu'on peut regarder comme le principal fruit des recherches précédentes. On voit 1°. Que les longueurs de la partie extérieure DG , doivent être proportionnelles, lorsque toutes les autres conditions sont les mêmes, aux longueurs de la partie intérieure DF . On voit 2°. Que plus la carène de la Galère est fine ou que lors qu'elle est mieux taillée & plus propre à recevoir une grande vitesse Dd , on doit rendre la partie extérieure de la rame plus longue; & qu'au contraire dans les Bâtimens pesans, dans ceux qui ne doivent jamais singler que lentement, on doit racourcir cette partie. C'est ce qu'on doit faire dans ces derniers Navires; parce que leur vitesse retranche une moindre portion de la vitesse avec laquelle la pale choque l'eau; ce qui donnant la liberté de racourcir la partie extérieure de la rame, met en état de profiter de l'avantage qu'on trouve toujours à augmenter l'étendue de la

la pale. Enfin 3°. Plus les Rameurs sont robustes ou en état de donner de vitesse à l'extrémité F, plus il faut, & presque par la même raison, racourcir la partie extérieure DG.

Quoique ce sujet si simple en aparence devienne plus compliqué, à mesure qu'on le considère avec plus d'attention, nous ne voulons pas, puisque l'occasion ne s'en présenteroit plus dans la suite, nous dispenser de déterminer la longueur dont il est à propos de faire la partie extérieure de la rame, lorsque l'étendue de la pale sera *donnée* & rendue la plus grande qu'on pourra. La longueur que nous venons de découvrir est une limite; mais nous devons toujours faire la partie DG effectivement plus longue. Je nomme a la vitesse que l'effort des Rameurs seroit capable d'imprimer à la Galère, s'il lui étoit immédiatement appliqué sans l'intervention d'aucune machine. Cette vitesse c'est celle qui étoit marquée par Dd dans la figure 35, & nous pouvons donc, comme ci-devant exprimer par a^2 l'effort absolu que font les Rameurs. Je nomme en même tems b la vitesse avec laquelle il faudroit que le centre G des rames, se mût pour que leur choc contre l'eau, fût égal au même effort absolu. Ainsi si a & b n'expriment pas dans la figure 34 la vitesse actuelle même Dd ou gy de la Galère & la vitesse respective Gy avec laquelle la rame choque actuellement l'eau, elles expriment au moins leur rapport, conformément au Théoreme spécifié dans l'art. 1. Ces vitesses a & b dépendent de la surface de la prouë & de l'étendue des rames, sans qu'elles suivent pour cela la raison réciproque de ces surfaces. Si, par exemple, la surface plane qu'on peut considérer à la place de la surface courbe de la prouë, parce qu'elle seroit sujette à la même impulsion de la part de l'eau, étoit quadruple de l'étendue totale que forment ensemble toutes les pales des rames, il ne seroit pas nécessaire que ces rames se meussent avec une vitesse b quadruple de celle a de la Galère, pour que les chocs absolus contre l'eau fussent égaux : il suffiroit

Fig. 34.

P

Fig. 34.

qu'elles se meussent simplement deux fois plus vite ; & cela parce qu'une vitesse double suffit pour rendre l'impulsion 4 fois plus grande, & pour suppléer par conséquent à la moindre étendue de la surface lorsqu'elle est quatre fois plus petite. Si la surface plane à laquelle se réduit la surface courbe de la prouë est neuf fois plus grande que celle de toutes les rames , il suffira par la même raison que les rames se meuvent trois fois plus vite. En général nommant P la surface plane équivalente à la surface convexe de la prouë en fait d'impulsion , & R l'étendue totale des pales des rames , les vitesses a & b seront comme $\frac{1}{\sqrt{P}}$ est à $\frac{1}{\sqrt{R}}$, ou comme \sqrt{R} à \sqrt{P} .

Tout cela supposé , la ressemblance des triangles FDf & GDg dans la figure 34 , nous donnera $Gg = \frac{Ff \times DG}{FD}$; & puisque les vitesses γg & $G\gamma$ sont comme a & b , nous pouvons faire (*componendo*) cette autre analogie ; $a + b \mid a \parallel Gg = \frac{Ff \times DG}{FD} \mid \gamma g = \frac{a}{a+b} \times \frac{Ff \times DG}{FD}$ pour la vitesse actuelle de la Galère. D'un autre côté nous avons vû que a^2 exprime l'effort des Rameurs , & il est évident que cet effort appliqué en F en doit produire un autre en G que nous trouverons par cette proportion ; $DG \mid DF \parallel a^2 \mid a^2 \times \frac{DF}{DG}$. Or c'est ce dernier effort qui se réunissant dans le centre G des pales , produit immédiatement la vitesse actuelle Dd de la Galère , en s'exerçant contre la résistance que trouve la prouë à fendre l'eau. Il faut par conséquent prendre la racine quarrée $a\sqrt{\frac{DF}{DG}}$ de cet effort ($a^2 \times \frac{DF}{DG}$) pour avoir toujours conformément à ce que nous avons dit , la vitesse que nous sçavons déjà être égale à $\frac{a}{a+b} \times \frac{Ff \times DG}{FD}$. Ainsi nous avons $a\sqrt{\frac{DF}{DG}} = \frac{a}{a+b} \times \frac{Ff \times DG}{FD}$ dont nous déduisons $DG = \frac{\overline{a+b}^{\frac{2}{3}}}{Ff^{\frac{2}{3}}} \times FD$, formule qui satisfait à la question & qui

ne peut pas manquer de convenir aussi au cas particulier Fig. 34. que nous avons déjà résolu. Plus l'étendue R des pales sera grande, ou ce qui revient au même, plus on multipliera le nombre des rames, plus la vitesse b sera petite & plus il faudra diminuer la longueur de la partie extérieure DG; & enfin si b pouvoit devenir nulle, alors DG deviendrait égale à $\frac{a}{Ff} \times FD$, ainsi que nous l'avons trouvé.

Il ne nous reste plus qu'à faire remarquer qu'il suffit de supposer que le long usage a réussi à donner aux rames leurs vraies longueurs dans les Galères ordinaires, pour que nous puissions découvrir le rapport des vitesses a & b avec Ff , sans être obligés de faire de nouvelles expériences; ce qui nous permettra de régler ensuite par comparaison la longueur des rames dans toutes les autres circonstances. Nous avons dit que la vitesse a que recevoit le sillage si l'effort absolu des Rameurs étoit immédiatement appliqué au Navire, peut s'exprimer par $\sqrt{\frac{1}{P}}$. C'est ce qui est vrai, si on suppose que le nombre des Rameurs est toujours le même: mais si n marque le nombre des hommes dont la Chiourme est formée, nous aurons $\sqrt{\frac{1}{3}n}$ ou $\sqrt{\frac{n}{3P}}$ pour la vitesse a , parce que vû la résistance de l'eau qui change comme le quarré de la vitesse du sillage, le plus grand ou le moindre nombre des Rameurs ne doit imprimer à la Galère qu'une vitesse qui est comme la racine quarrée de ce nombre ou de la force motrice: & nous n'employons que le tiers de n , parce que comme nous l'avons reconnu dans le premier article, l'action des Rameurs est à peu près la même que s'ils agissoient sans interruption, mais qu'il n'y en eût que le tiers qui agit dans chaque instant. D'un autre côté la vitesse b qu'il faudroit que reçût le centre des pales des rames pour qu'elles souffrissent de la part de l'eau une aussi grande impulsion, doit être $\sqrt{\frac{n}{3R}}$, puisque cette vitesse b est à la vitesse a , comme $\sqrt{\frac{1}{R}}$ & à $\sqrt{\frac{1}{P}}$.

Pij

Fig. 34. Nous pouvons donc mettre $\sqrt{\frac{n}{3P}}$ & $\sqrt{\frac{n}{3R}}$ à la place de a &

de b dans la formule $DG = \frac{\overline{a+b^{\frac{2}{3}}}}{\overline{Ff^{\frac{2}{3}}}} \times FD$: nous la change-

gerons en $DG = \frac{\sqrt{\frac{n}{3P}} + \sqrt{\frac{n}{3R}}}{\overline{Ff^{\frac{2}{3}}}} \times FD$; & il ne reste plus

qu'à introduire dans cette dernière équation les valeurs de FD , de DG , de n , &c. telles que nous les fournissent les Galères ordinaires, pour pouvoir en déduire Ff .

Il y a ordinairement 52 rames en tout sur chaque Galère, & on met 5 hommes sur chaque rame. Les pales ont à peu près 5 pieds de longueur sur $\frac{1}{2}$ de large ; ce qui donne $2\frac{1}{2}$ pieds quarrés pour l'étendue de chacune & 130 pieds pour la surface des 52. Cela supposé, nous avons 260, le nombre d'hommes de la Chiourme, pour la valeur de n , & 130 pieds quarrés pour celle de R . Nous avons déjà averti que FD est de 12 pieds, & on peut supposer que l'effort moyen des Rameurs est appliqué à 9 pieds de distance du point G : Ainsi FD doit être traité comme s'il étoit seulement de 9 pieds, pendant que DG est d'environ $21\frac{1}{2}$; ce qu'on trouve en retranchant de 24 pieds la demie longueur $2\frac{1}{2}$ pieds de la pale. A l'égard de la surface plane P à laquelle se réduit la prouë, elle est extrêmement petite à cause de la grande faillie & du peu de profondeur de la carène, ce qui fait que la Galère glisse sur l'eau avec une extrême facilité. Je crois qu'elle ne reçoit pas plus d'impulsion qu'une surface plane de 9 ou 10 pieds quarrés ; je prends ce dernier nombre pour la valeur de P . Or l'introduction de toutes ces grandeurs dans la formule, donne $1.\frac{01}{100}$ pour la valeur approchée de $\overline{Ff^{\frac{2}{3}}}$. Ainsi supposant que les Rameurs font toujours un égal effort & agissent précisément avec la même vitesse, nous n'avons qu'à employer continuellement cette valeur 1.01 de $\overline{Ff^{\frac{2}{3}}}$ & nous

aurons $DG = \frac{\sqrt{\frac{n}{3P}} + \sqrt{\frac{n}{3R}}}{1.01} \times FD$ pour la longueur qu'il faut donner à la partie extérieure de la rame par rapport à la partie intérieure dans tous les différens cas ; c'est-à-dire quel que soit le nombre n d'hommes dont la Chiourme est formée , quelle que soit la grandeur R de la surface totale que font ensemble les pales des rames , & quelle que soit aussi la surface plane P à laquelle on peut suposer que se réduit la prouë.

Mais nous pouvons rendre cette solution encore plus générale : car au lieu de suposer que l'interruption de l'action des rames fait perdre les $\frac{2}{3}$ du tems comme dans les Galères ordinaires , nous pouvons suposer qu'il n'y a que le $\frac{1}{4}$ ou la cinquième partie du tems , &c. qui soit employée utilement , & désigner généralement cette fraction par $\frac{1}{f}$;

ce qui changera la formule $DG = \frac{\sqrt{\frac{n}{3P}} + \sqrt{\frac{n}{3R}}}{1.01} \times FD$ en

cette autre $DG = \frac{\sqrt{\frac{n}{fP}} + \sqrt{\frac{n}{fR}}}{1.01} \times FD$ qui est d'une aplica-

tion beaucoup plus étendue. Si l'on donne , par exemple , 120 Rameurs à un Navire de bas bord , & que divisant le tems en 4 parties , il n'y en ait qu'une pour la durée des *palades* : suposé de plus que toutes les rames forment ensemble une surface de 75 pieds quarrés , pendant que la surface de la prouë est équivalente quant à l'impulsion qu'elle reçoit , à un plan de 15 pieds quarrés , on aura DG

$$= \frac{\sqrt{\frac{120}{4 \times 15}} + \sqrt{\frac{120}{4 \times 75}}}{1.01} \times FD = \frac{1.61}{1.01} \times FD ; \text{ de sorte que si la}$$

partie FD est de 10 pieds , ou plutôt si l'effort des Rameurs est appliqué à 10 pieds de distance du point D , il faudra que le centre d'effort des pales soit environ 15 pieds 11 $\frac{1}{2}$ pouces en dehors du Navire , ou que DG soit de cette quantité.

Jusques à présent on n'a appliqué les rames avec succès qu'aux seuls Navires de bas bords , quoi qu'on ait senti combien il seroit important de pouvoir les appliquer aussi dans certains cas aux Vaisseaux proprement dits. La hauteur de ces derniers a rendu inutiles les différentes tentatives qu'on a faites de tems en tems pour tâcher de leur procurer ce secours. On a principalement insisté sur ce que les rames fussent tournantes comme les rames des moulins à eau : mais comme on n'a pas pû leur donner assez de vitesse , elles n'ont point eu d'effet ou n'en ont eu que très-peu. Il semble qu'on ne peut corriger ce défaut qu'en donnant à la rame la forme représentée dans la figure 36 ou quelque autre équivalente. La pale ABCD auroit ses côtés de 5 à 6 pieds ou même de 8 ou de 10 ; & comme elle entreroit verticalement dans l'eau , elle offriroit au choc une surface dont l'étendue seroit depuis 25 ou 30 pieds quarrés jusqu'à 100 ; & un petit nombre de pareilles rames si elles étoient mûes avec promptitude , seroit très-capable de vaincre la résistance de l'eau contre la prouë , qui à cause de sa convexité & de sa saillie , souffre beaucoup moins d'impression qu'une surface plane de même hauteur & de même largeur.

Cette pale seroit formée d'especes de portes qui auroient la liberté de s'ouvrir en dehors d'environ 25 ou 30 degrés , comme des soupapes ; mais qui ne pourroient pas passer en dedans , arrêtées qu'elles seroient par le chassi ABCD. Le levier de la rame seroit coudé & s'appuyeroit en F en quelquequ'endroit du bord du Vaisseau ; & comme on ne peut pas rendre son bras FG assez long & que cependant il est nécessaire de faire agir dessus 30 ou 40 Matelots , il n'y auroit qu'à mettre en travers *des barres* IH , LK , &c. à chacune desquelles on appliqueroit 8 ou 10 Rameurs ; & de cette sorte la longueur qu'on donneroit à la partie intérieure FG ne seroit jamais assez grande , pour que l'espace parcouru par l'extrémité G , excédât la hauteur d'un

homme. Ces rames seroient situées à la poupe où on en pourroit mettre deux ; & rien n'empêcheroit aussi d'en placer sur les flancs du Navire en les situant obliquement. Lorsqu'on élèveroit le levier FG, la pale s'aprocheroit de la carène , & ne fraperoit presque point l'eau ; parce que les portes s'ouvreroient , & qu'on agiroit outre cela avec lenteur. Mais les Rameurs chargeant ensuite tout à coup le levier avec tout leur poids , les portes ou les soupapes se fermeroient , & la pale en s'éloignant , fraperoit l'eau avec une force qui ne manqueroit pas de faire avancer le Navire. Ce n'est , à ce que je crois , que par cette seule disposition qu'on peut procurer assez de vitesse à la rame ou lui donner cette espece de *saccade* qui est nécessaire , pour qu'elle produise quelque effet.

J'avoue qu'il faudroit dans les Navires , dont le bord est fort élevé , que le bras extérieur de la rame fût fort long , pour que la pale plongeât suffisamment dans la Mer , tant qu'on prend le point F pour point d'appui. Il vaudroit peut être mieux faire sortir alors du Navire , par les fenêtres de la poupe , quelques pieces de bois sur l'extrémité desquelles on appuyeroit le point O de chaque rame. Alors les Rameurs au lieu de peser sur les barres HI, KL, &c. les pousseroient horizontalement en avant en se jettant vers la prouë : & il faudroit dans ce cas que l'angle E fût sujet à s'ouvrir un peu , par le moyen d'une espece de charniere. Je n'insiste point sur l'assemblage de ces diverses parties , ni sur la maniere de faire en sorte qu'elles se montent & se démontent aisément : Tout cela regarde les ouvriers. Les personnes expérimentées dans la Marine voyent aussi assez que comme ces rames ne peuvent guères servir à faire gouverner le Navire , il faudroit ordinairement que la Chaloupe mise à la Mer , précédât le Vaisseau & le dirigeât en le tirant vers le côté où il s'agit d'aller.

Fig. 36.

C H A P I T R E V.

Des Proportions qu'on suit ordinairement dans la mâture des Vaisseaux.

N O U S pouvons maintenant nous élever à la considération de la mâture , & expliquer les dimensions de ses principales parties. Tous les Vaisseaux , les Frégates , les Flutes , &c. ont quatre mâts principaux. *Le grand mât* qui se met au milieu du Navire est le premier. Le mât de *mizaine* qui se met vers la prouë très-près de l'extrémité de la quille , est le second , & il ne diffère qu'assez peu du grand mât par sa hauteur ; le troisième est le *beaupré* , qui au lieu d'être vertical comme les autres , est incliné en avant & sort du Navire par la prouë , en s'appuyant sur l'étrave , & le quatrième est l'*artimon* qui manque quelquefois dans les plus petits Navires & qui se place vers la poupe. Son nom est encore tout Grec ; mais je crois que les Anciens nommoient artimon le mât que nous nommons maintenant de *mizaine*.

Au-dessus de ces mâts on en met d'autres qu'on nomme ordinairement mâts de hune ; c'est au moins le nom de ceux qu'on met au-dessus des deux premiers ; c'est-à-dire du grand , & du mât de mizaine ; l'un est le *grand mât de hune* ou le *mât du grand hunier* , & l'autre est le *petit mât de hune* ou le *mât du petit hunier*. Mais le mât d'artimon étant considérablement plus petit , on nomme toujours celui qu'on élève au-dessus , le mât de *perroquet de fougue* ; pendant qu'on ne donne le nom de *perroquet* qu'aux plus petits mâts qu'on élève encore au-dessus du grand mât & du mât de mizaine , & qu'on place au-dessus des huniers. Ainsi l'artimon n'est ordinairement formé que de deux mâts , sçavoir de celui d'en bas , qui est le mât d'artimon proprement dit , & du mât de perroquet de fougue qui s'ente au-dessus ;

dessus ; au lieu que le grand mâât & le mâât de mizaine sont formés de trois parties ; le mâât d'en bas auquel appartient privativement le nom de grand mâât ou de mâât de mizaine ; les mââts de grand & petit Hunier qui sont au dessus , & les mââts de grand & petit perroquet qui sont encore plus haut. Dans les petits Navires qui n'ont point d'Artimon , le mâât de mizaine se trouve au milieu des deux autres ; & c'est de cette situation dont il a pris son nom , que nous avons emprunté des Italiens.

Tous ces mââts ont leurs voiles particulieres , & nous en avons dit le nom d'avance ; s'il s'agit du grand mâât, *la grande voile* est la plus basse ; *le grand Hunier* est au dessus , & *le grand perroquet* encore plus haut. Dans le second mâât *la mizaine* est la plus basse , au dessus est le *petit hunier* , & plus haut le *petit perroquet*. La voile d'Artimon se nomme souvent *voile latine* , & on nomme ainsi toutes les voiles qui , au lieu d'être quadrangulaires , ne sont que triangulaires , aparemment parce que nous en avons pris l'usage des Italiens , ou Lévantins. La voile du beaupré prend aussi un nom particulier , on la nomme *civadiere* , & ce nom est Espagnol (*cevadera*) *. Toutes ces voiles sont soutenues par les *vergues* qui sont de longues pièces de bois placées horisontalement , & qui traversent les mââts ; chaque vergue prend le nom de la voile qu'elle soutient.

On voit toutes ces choses dans la figure 37. qui représente toutes les voiles lorsqu'elles sont *défrêlées* ou exposées au vent. Les trois du grand mâât sont marquées par A , B , C ; la grande voile , le grand hunier & le grand perroquet. Le mâât de mizaine a aussi ses trois voiles ; la mizaine proprement dite D ou *le bourcet* , son hunier E ou le petit hunier , & le petit perroquet F. La voile de beaupré est marquée par G , & c'est la *civadiere*. L'artimon n'est point *défrêlé* , il est ferré ; mais on voit au dessus I le perroquet de fougue. Il y a encore quelques autres voiles que nous n'avons point représentées ici : comme sont celles *d'étay* & *les focs*. On nomme *étay* tous les cordages qui partant de la tête des mââts , viennent se rendre au beaupré , & les

* La *civadiere* étant fort avancée hors du Vaisseau , & descendant presque jusqu'à la surface de la Mer , sa figure la fait comparer au sac qu'on attache quelquefois à la tête des chevaux , dans lequel on met l'orge (*cevada*) dont on les nourrit en Espagne.

Fig. 37.

Q

empêchent de tomber en arriere. Ces cordages soutiennent des voiles triangulaires, dont la plus grande qui est suspendue au grand étay KL, se nomme la *voile d'étay*, & les autres de la même espèce se nomment *focs*. On voit dans la même figure les mâts & les vergues qui appartiennent à chaque voile. Vers le haut de chaque mât inférieur il y a la *hune* ou la *gabie* comme parlent les Lévantins, qui est comme une petite galerie ou tribune ronde; & toute la partie du même mât qui est au dessus de la hune, se nomme le *tenon*, à cause de son usage; elle sert à maintenir l'autre mât qui est au dessus. Cette partie est surmontée par un billot de bois nommé *chouquet*, qui a une échancrure en demi-cercle, pour recevoir le mât supérieur.

Proportions des mâts inférieurs, & de leur application.

Le grand mât se met au milieu de la longueur totale du Vaisseau prise du haut de l'étambot au haut de l'étrave, ou si on ne le place pas exactement dans ce point, on fait en sorte que toute sa grosseur soit en arriere du milieu. Presque tous les constructeurs s'accordent en cela; mais ce n'est pas absolument la même chose à l'égard des autres mâts: quelques-uns mettent celui de mizaine précisément à l'extrémité de la quille, au lieu que quelques autres le reculent un peu, comme d'une quarantième ou cinquantième partie de toute la longueur du Vaisseau, pendant que d'autres au contraire le font un peu avancer sur l'étrave. Le mât de beaupré, on l'incline ordinairement assez, pour qu'il fasse un angle d'environ 35 degrez avec l'horison. Enfin on place l'artimon à environ les trois seizièmes de la longueur totale du Navire de distance du haut de l'étambot. Si le Vaisseau a 160 pieds de longueur totale, on met l'artimon à 30 pieds de distance de l'étambot.

On donne ordinairement en France, de longueur au grand mât deux fois & demie la largeur du Navire; au lieu que les Anglois rendent ce mât un peu moins long, en ne le faisant que de deux largeurs du Vaisseau & deux cinquièmes. Ainsi supposé que le Navire ait 40 pieds de largeur,

nos constructeurs donneroient au grand mâât 100 pieds de hauteur ; mais les Anglois ne lui en donneroient que 96. Les Hollandois font encore cette hauteur un peu plus grande que nous , quoiqu'ils conviennent aussi avec toutes les autres Nations à la régler de même que la longueur de tous les autres mââts , sur la seule largeur du Vaisseau. Le tenon , ou cette partie qui est au dessus de la hune , a toujours de longueur la dixième partie de celle du mâât.

Le diamètre du grand mâât , au travers du premier pont , ou du pont inférieur , contient toujours autant de pouces que les trois quarts du maître bau contiennent de pieds ; ou ce qui revient au même , ce diamètre est la quarantième partie de la longueur du mâât. Dans la supposition que nous venons de faire , le grand mâât doit avoir 30 pouces de diamètre ; & à son extrémité d'en haut il doit en avoir 20 : car c'est une règle générale que tous les grands mââts & mââts de mizaine n'ayent par leurs extrémités supérieures que les deux tiers de leur plus grande grosseur.

Je me fais violence , je l'avouë , pour rapporter en détail toutes ces règles , qui ne sont nullement fondées en raison , & qui ne sont propres qu'à être refutées. Le mâât de mizaine a sa hauteur égale , à deux fois & un quart la longueur du bau , & son diamètre , au travers du premier pont qui est l'endroit où il est le plus gros , de même que les autres mââts inférieurs , est environ la trente-neuvième partie de sa longueur. D'autres constructeurs retranchent une dixième partie de la hauteur du grand mâât , pour avoir celle du mâât de mizaine.

Le mâât de beaupré a de longueur une fois & demie le bau , & son diamètre vis-à-vis du haut de l'étrave , est la vingt-septième partie de sa longueur. Si la largeur du Navire est de 40 pieds , le beaupré aura donc 60 pieds de longueur , & 26 $\frac{2}{3}$ pouces de diamètre dans la plus grande grosseur. Par en haut , on ne lui donne de diamètre que la moitié.

Enfin le mâât d'artimon a sa longueur égale à une fois le bau & trois quarts , pendant que son plus grand diamètre

est d'autant de pouces que les 7 feizièmes du bau contiennent de pieds; disons mieux: ce mât a de plus grande grosseur la quarante-huitième partie de sa longueur, & il a par en haut la moitié de cette grosseur.

Proportions des mâts supérieurs.

Il nous faut maintenant passer aux mâts supérieurs; le grand mât de hune qui se place au dessus du grand mât, a ordinairement de longueur un bau & demi; de sorte que sa longueur est égale à celle du beaupré; mais il a moins de grosseur: son plus grand diamètre n'est qu'environ la quarante-troisième partie de sa longueur.

Le mât de petit hunier qui se place au dessus du mât de mizaine, a de longueur un bau & trois huitièmes; & son plus grand diamètre est environ la quarante-troisième partie de sa longueur.

Le mât de perroquet de fougé qui s'ente au dessus de l'artimon, a la moitié de la longueur & de la grosseur du grand mât de hune.

Le mât de grand perroquet a les cinq douzièmes de la longueur du grand mât de hune au dessus duquel on le met; & il a la moitié de sa grosseur: au lieu que le mât de petit perroquet a de longueur les quatre septièmes du petit mât de hune, & la moitié de sa grosseur.

Le mât de perroquet de beaupré qui se place immédiatement & verticalement au dessus du beaupré, a de longueur les deux cinquièmes du maître bau; & sa grosseur se fait ordinairement d'autant de pouces qu'il y a de pieds dans les sept trente-sixièmes du bau: c'est-à-dire qu'on la fait d'un peu moins que la vingt-cinquième partie de la longueur.

Proportions des Vergues.

Nous ne pouvons pas nous épargner le reste du détail; puisque nous l'avons commencé. La grande vergue qui soutient la grande voile, & qui est appliquée vers le haut du grand mât, a ordinairement de longueur deux fois

le bau & une sixième partie. Sa plus grande grosseur est au milieu; elle y a autant de pouces de diamètre que les deux tiers du bau contiennent de pieds, ou ce qui revient au même, elle a de diamètre la trente-neuvième partie de sa longueur. Les vergues ont une figure fort différente des mâts : elles se terminent presque en pointes aux deux extrémités, où elles n'ont que le tiers de leur plus grande grosseur.

La vergue du grand hunier a de longueur un bau & un quart, & a de grosseur la moitié de celle de la grande vergue.

Encore plus haut est la troisième vergue, pour soutenir la troisième voile, celle de grand perroquet. Cette vergue a de longueur les trois quarts du bau, & de grosseur la moitié de celle du grand hunier, ou le quart de celle de la grande vergue.

La vergue de mizaine a de longueur exactement deux baux, & sa plus grande grosseur a autant de pouces de diamètre que les cinq huitièmes du bau contiennent de pieds.

La vergue du petit hunier qui est au dessus de la mizaine, a de longueur un bau & une sixième; & sa grosseur est le plus souvent les sept quinzièmes de celle de la vergue de mizaine.

La vergue de petit perroquet qui est plus haut, est longue des deux tiers du bau; & sa grosseur est la moitié de celle de la vergue du petit hunier.

La vergue de civadiere a ordinairement de longueur un bau & un quart, & sa plus grande grosseur qui est toujours au milieu, est d'autant de pouces que le tiers du bau contient de pieds; de sorte qu'elle n'a de grosseur que la moitié de celle de la grande vergue.

La vergue du perroquet de beaupré a de longueur les trois quarts du bau, & sa grosseur est les sept seizièmes de celle de la vergue de civadiere.

La vergue d'artimon est inclinée à cause de la figure triangulaire de sa voile, & elle est l'hypoténuse de ce

triangle qui est rectangle : sa longueur est de deux baux. Sa plus grande grosseur a autant de pouces de diamètre que le tiers du bau a de pieds. Le bout d'en bas a les deux tiers de cette grosseur , & celui d'en haut le tiers.

La vergue du perroquet de fougue a de longueur les trois quarts du bau , & de grosseur la moitié de celle de la vergue d'artimon.

Toutes les voiles sont suspendues par leurs vergues , y étant fortement liées par des cordages qu'on nomme *rabans* , & leurs deux angles d'en bas au moins dans les voiles supérieures , s'appliquent vers les extrémités des vergues qui sont au dessous , & qui servent à soutenir les voiles inférieures. Cette disposition ne peut pas avoir lieu à l'égard du perroquet de fougue , à cause de l'inclinaison de la voile d'artimon ; mais on met une autre vergue qu'on nomme *seche* , qui n'a d'autre usage que de le retenir par en bas. Cette vergue que nous n'avons pas manqué de représenter dans la Fig. 37. a de longueur un bau & un quart , pendant que sa grosseur est la moitié de celle de la vergue d'artimon , ou est égale à celle de la vergue supérieure.

De la figure qu'on donne aux Mâts & aux Vergues.

Les Lecteurs savent assez que les mâts , de même que les vergues sont ronds , qu'ils sont comme cylindriques ou coniques ; mais ils ne savent peut-être pas tous que les côtés n'en sont pas des lignes droites. Le plus souvent les Mâteurs donnent à ces côtés la courbure d'un arc d'Ellipse. Voici la manière dont ils tracent cet arc , en se conformant à leur méthode ordinaire des *réductions*.

Fig. 38. Ils forment le triangle équilatéral ACB (Fig. 38.) dont les côtés sont égaux au plus grand diamètre du mât , ou de la vergue qu'ils se proposent de faire. Des points A & B comme centre , ils décrivent les deux arcs de cercle BC & AC , & ils portent ensuite en EF parallèlement à AB , le plus petit diamètre du mât ou de la vergue. S'il s'agit d'un mât , EF est ordinairement les deux tiers de

AB, & n'en est que le tiers, s'il est question d'une vergue. Après cela ils partagent la hauteur DG, en autant de parties égales qu'ils se proposent de trouver le diamètre du mât en divers endroits de sa longueur; & ils tirent par les points de division des parallèles MN, OP, &c. aux deux premières. Il ne leur reste plus ensuite qu'à diviser la longueur du mât en autant de parties égales qu'ils ont divisé DG, & transportant successivement toutes les largeurs EF, MN, &c. perpendiculairement à l'axe du mât vis-à-vis de ses points de divisions, ils ont les diamètres que doit avoir le mât en chaque endroit. Il est évident que les constructeurs donnent par cette opération aux côtés du mât la courbure d'un arc d'Ellipse. Mais ont-ils quelque raison de préférer cette courbure? On peut assurer qu'ils se sont déterminés ici, comme on a vu qu'ils l'ont fait souvent ailleurs, par la plus grande facilité qu'ils ont trouvée à tracer certaines courbes. Nous dirons un mot dans la Section suivante de la vraie figure qu'il faudroit donner aux mâts & aux vergues.

CHAPITRE VI.

Remarques & Expériences sur les Règles précédentes, avec le moyen de rendre ces Règles moins imparfaites.

I.

IL est assez facile de juger que les dimensions des voiles sont réglées sur la hauteur des mâts, & sur la longueur des vergues dont nous venons de parler. Leur largeur par en haut, ou leur *envergure*, est un peu moins grande que la longueur de la vergue à laquelle elles sont suspendues; leur largeur par en bas, ou leur *bordure*, est de même un peu moins grande que la longueur de la vergue inférieure, à laquelle leurs deux angles ou leurs *deux*

points viennent se rendre ; & leur hauteur qu'on nomme ordinairement *leur chute*, est à peu près égale à la hauteur de leur mât. Il n'y a que *la chute*, ou la hauteur des basses voiles qui en est fort différente, à cause de toute la partie de la hauteur des mâts que retranche le corps du Navire. Dans les Vaisseaux du premier rang qui ont 48 pieds de largeur, le grand mât a 120 pieds de hauteur, & on ne peut cependant donner au plus que 55 pieds de *chute* ou de hauteur à la grande voile.

Le grand mât ayant seul 120 pieds de hauteur, & étant encore surmonté du grand mât de hune qui a 72 pieds, & du mât de perroquet qui en a 30, on voit la grande élévation qu'à la mâture. C'est la même chose à proportion dans les plus petits Navires ; & si les Marins faisoient attention à ce qui se passe de temps en temps sous leurs yeux, ils se convaincroient aisément qu'il n'y a que de l'avantage à diminuer cette hauteur prodigieuse, en gagnant, s'ils le vouloient, sur la largeur des voiles, ce qu'ils perdroient sur l'autre dimension. Une voile très-petite, mais placée à une très-grande hauteur, fait plus d'effort pour faire incliner le Navire que pour le faire singler ; parce qu'appliquée à un long bras de levier, elle a un grand moment par rapport au centre de gravité du Vaisseau : au lieu qu'une voile plus grande, mais appliquée moins haut, travaille moins à produire l'inclinaison ; & cela n'empêche pas qu'elle ne fasse tout son effet, par rapport à la vitesse du sillage qu'elle accélère. C'est ce que j'ai tâché de prouver dans un Traité exprès, où j'ai entrepris de substituer aux règles tâtonneuses & grossières, exposées dans le Chapitre précédent, des maximes précises & exactes, tirées de la Mécanique même des mouvemens des Vaisseaux, & de l'examen particulier de leur figure. Tout ce que les Marins peuvent dire pour défendre leurs règles, c'est qu'elles sont autorisées de l'expérience & du consentement, pour ainsi dire, de toutes les Nations ; mais on peut assurer malgré cela que l'expérience est plus contraire à ces mêmes règles, qu'elle ne leur est favorable. Il arrive tous les jours qu'un

qu'un Vaisseau étant démâté en Mer, on ne peut remplacer ses voiles que par d'autres beaucoup plus petites; & que cependant son sillage est aussi rapide que lorsque sa mâture avoit ces énormes dimensions, que le mauvais usage qui regne actuellement, lui fait donner. Lorsqu'on a voulu au contraire augmenter encore la mâture de quelques Navires, ils ont infailliblement perdu de leur marche. C'est ce qui arriva, par exemple, il y a quelques années, au Vaisseau du Roy *le Content*, sur lequel on voulut outrer un peu les règles ordinaires, ou peut-être seulement les observer plus dans la rigueur, & qui perdit aussi-tôt une partie de ses avantages *. Marques certaines que la mâture est hors des mesures, & qu'elle est déjà beaucoup trop grande.

I I.

Mais les règles ordinaires ne péchent pas seulement parce qu'elles donnent trop d'élévation à la mâture, elles ont encore un vice intérieur & secret, parce qu'elles n'expriment pas même la loi que doivent suivre les dimensions de la voilure dans les differens Navires. Si un Vaisseau est deux fois moins long, deux fois moins large, &c. on donne constamment à sa voilure deux fois moins de hauteur, & deux fois moins de largeur; & cependant il est très-facile de reconnoître que le petit Navire, vû le système ordinaire de la mâture, qui admet que les Vaisseaux s'inclinent, pourvû que l'inclinaison ne devienne pas excessive, doit en porter beaucoup moins à proportion que le grand. Le Navire, dont toutes les dimensions simples sont deux fois plus petites, à huit fois moins de solidité, ou pese huit fois moins; & comme c'est sa pesanteur qui s'oppose à l'effort que fait le vent pour le faire verser, ou au moins pour le faire incliner dans les routes obliques, il doit avoir huit fois moins de force absolue pour soutenir la voile. Mais cette même force qui est huit fois plus petite, se réunit dans le centre de gravité, & est appliquée deux fois moins avantageusement, puisque toutes les dimensions

R

* Voyez
ce qu'en
dit le P.
Laval.
Voyage de
la Louisiane,
page
279.

simples du Navire étant deux fois plus petites , son centre de gravité est aussi deux fois moins bas , ou par rapport au pont , ou par rapport à la surface de l'eau. Ainsi la force relative avec laquelle la pesanteur du Navire s'oppose à l'effort du vent , est seize fois moins grande. Pour juger par conséquent de la bonté ou du défaut des règles ordinaires , il n'y a qu'à voir si elles font diminuer aussi seize fois la force relative qu'a le vent pour renverser dans les routes obliques , un Navire deux fois plus petit. Si elles produisent précisément la même diminution , elles ne détruiront point l'équilibre ; ce sera une marque qu'elles sont parfaites , ou qu'il faut continuer à faire la mâture proportionnelle aux autres dimensions des Vaisseaux. Mais lorsqu'on donne deux fois moins de hauteur , & deux fois moins de largeur aux voiles du Navire deux fois plus petit , l'étendue de leur superficie ne diminuë que quatre fois ; ce qui ne rend l'effort absolu que quatre fois moindre. Il est vrai que le centre de cet effort sera aussi deux fois moins élevé au dessus du Vaisseau , & appliqué par conséquent à un bras de levier deux fois moins long : Mais tout considéré , la force relative qui tend à faire renverser le Navire , ne sera diminuée que huit fois ; pendant que la force contraire , la résistance formée par la pesanteur du Vaisseau , sera , comme nous l'avons vû , diminuée seize fois. Il est donc clair que la force du vent prévaudra , & qu'elle sera deux fois trop grande : ainsi si la mâture du grand Vaisseau est bien disposée , celle de l'autre ne le sera pas ; le petit Navire sera exposé à verser.

Pour le dire d'une manière plus générale , mais en négligeant toujours quelques considérations auxquelles nous aurons égard dans la suite , la force relative avec laquelle le Vaisseau s'oppose à l'effort du vent , diminuë comme le quarré quarré de sa quille ou de la longueur de son bau ; puisque la pesanteur ou la force absoluë diminuë comme le cube , & que cette force est appliquée à un bras de levier moins long. Mais tant qu'on s'assujettit aux règles vulgaires , l'effort relatif du vent ou le moment ne diminuë

que comme le cube de la quille, ou comme le cube de la largeur du Navire ; puisque la force absolue du vent qui est proportionnelle à l'étendue des voiles , ne diminuë que comme le quarré , & que la hauteur des mâts qui sert de bras de levier à cette force , ou qui est au moins proportionnelle à la longueur de ce levier , ne diminuë que comme la quille ou comme le bau. Ainsi dans les petits Navires , la force qu'ils ont pour soutenir la voile , diminuë toujours en plus grand rapport , que l'effort relatif que fait le vent pour les renverser : s'il y avoit par conséquent équilibre entre ces deux forces dans les plus grands Vaisseaux , l'équilibre ne doit plus subsister dans les moindres ; la premiere force se trouvant ensuite trop petite , & l'effort du vent trop grand. Il suit de-là que les règles ordinaires sont tout-à-fait défectueuses , & qu'elles doivent être au moins sujettes à l'un ou à l'autre de ces deux inconvéniens ; ou d'être cause qu'on ne navige pas avec une entiere sureté dans les petits Navires auxquels elles donnent trop de mâture ; ou qu'elles empêchent , en donnant au contraire une mâture trop peu étendue aux grands Vaisseaux , de jouir de tout l'avantage que procureroit leur grandeur.

III.

Les règles vulgaires se trouvant défectueuses , nous ne pouvons pas , & il s'en faut même beaucoup , leur en substituer d'autres qui soient aussi simples : mais si cependant on a une fois un Navire , dont la mâture est bien disposée , on pourra s'en servir pour régler la mâture des autres qui seront semblables , ou à peu près semblables. Les forces relatives qu'ont les Navires pour soutenir la voile , sont comme les quarrés quarrés de leurs dimensions simples ; & les forces relatives qu'a la mâture pour faire verser le Navire , sont comme les largeurs des voiles multipliées par le quarré de leur hauteur ; puisque cette hauteur augmente l'étendue des voiles , & fait en même tems que leur centre d'effort est plus élevé. D'un autre côté on ne peut gueres

R ij

se dispenser de régler les largeurs des voiles sur la largeur du Vaisseau : on peut faire ces largeurs plus grandes ou plus petites ; mais elles doivent toujours dépendre de l'autre. Ainsi pendant que la force relative du Navire pour soutenir la voile, est comme le quarré quarré de sa largeur, la force relative de la voile pour produire l'inclinaison, est comme le produit de cette même largeur par le quarré de la hauteur du mât. Mais s'il y a équilibre entre ces deux forces, il y aura égalité de rapport entre les deux quantités qui les expriment, & cette égalité subsistera encore, si on divise les deux quantités également par la largeur. Or il suit de-là que pour que les Navires semblables aient leur mâture également parfaite, il faut que les quarrés des hauteurs de leurs mâts, soient comme les cubes des largeurs de ces Navires, ou les cubes de leurs longueurs. Ce Théoreme peut servir de règle, & il sera toujours facile par son moyen, de déterminer la mâture d'un Navire, aussi-tôt qu'on en aura un autre, qu'on pourra prendre pour modèle.

* On prend ici les hauteurs des voiles au dessus du pont, quoique cela ne soit pas parfaitement exact.

Il semble qu'il n'y a point d'inconvénient à se régler toujours sur les Vaisseaux du troisième rang; parce que ce sont ceux qui, comme nous l'avons déjà dit, se comportent le mieux à la Mer. Dans un Vaisseau du troisième rang, qui a 137 pieds de longueur, les voiles de son grand mât ont ordinairement ensemble 118 pieds de hauteur *. Si on veut maintenant trouver combien doit avoir de hauteur la voilure d'un Navire semblable, & qui n'a que 83 pieds de long, il n'y a qu'à faire cette simple analogie; le cube de 137 est au quarré de 118, comme le cube de 83 est au quarré de la hauteur des voiles du grand mât du second Navire. Ce quarré est 3096, & par conséquent la hauteur du mât requis est d'environ $55\frac{1}{2}$ pieds; au lieu que selon les proportions ordinaires, elle seroit d'environ $71\frac{1}{2}$ pieds. Quoique l'opération ne soit jamais fort longue, on peut cependant l'abréger considérablement par le moyen des logarithmes.

Mais si le second Navire n'est pas semblable au premier;

s'il est plus large ou plus étroit , en même tems qu'il est plus ou moins creux dans le même raport ; il faudra faire à la mâture un second changement proportionel à celui de la largeur. C'est-à-dire que si le Navire qui a 83 pieds de longueur, au lieu d'avoir 23 pieds de largeur selon les règles ordinaires, n'en a que $15\frac{1}{3}$, ou les deux tiers de 23 , il ne faudra donner de hauteur à sa mâture qu'environ $37\frac{1}{3}$ pieds, au lieu de $55\frac{1}{3}$. Il est facile de voir que la longueur du Navire étant la même, mais la largeur & le creux recevant un changement semblable, il faut en faire souffrir un proportionel à la hauteur des mâts. Car suposant toujours que la largeur des voiles soit réglée sur celle du Navire, & que la hauteur de la mâture soit aussi changée dans le même raport, l'étendue de la voile, & par conséquent l'impulsion absolue du vent, sera proportionelle au quarré de cette largeur, & la force relative sera proportionelle à son cube ; en même tems que la force relative avec laquelle la pesanteur du Navire résistera à l'inclinaison, sera proportionelle à ce même cube, & non pas au quarré quarré ; puisque la longueur du Vaisseau est censée ici ne pas varier. Or il suit de-là que les changemens faits à la voilure, répondront exactement à ceux qu'on aura fait à la grosseur du Navire, & que l'équilibre entre les deux forces qui doivent se contrebalancer, ne se trouvera point alteré. Si le bau est deux fois plus long, la voile sera deux fois plus large, & aura deux fois plus de hauteur ; ainsi la surface sera quatre fois plus grande ; & comme son centre d'effort sera aussi deux fois plus élevé, son moment sera huit fois plus grand. Mais si l'effort relatif du vent pour faire verser le Navire, est huit fois plus grand ; d'un autre côté la pesanteur du Navire qui s'y oppose, aura huit fois plus de moment ; & il n'y aura donc rien à craindre. Le Navire en effet aura le même nombre de coupes verticales faites perpendiculairement à sa longueur, & qui servent d'élément à sa solidité ; mais chacune sera quatre fois plus grande ; & la pesanteur quadruple du Navire étant située deux fois plus bas ou deux fois plus avantageuse-

ment, puisque le Navire est deux fois plus creux, aura huit fois plus de force relative ou de moment ; précisément, comme il est nécessaire pour entretenir toujours l'équilibre avec l'effort du vent. On voit assez qu'il suffit de joindre cette seconde règle avec la première ; pour qu'on soit toujours en état, aussi-tôt qu'on aura un Navire dont la mâture sera parfaite, de déterminer la mâture de toutes les autres, & de ceux même qui ne sont pas semblables, pourvu que les coupes verticales de la carène le soient. La première règle porte que *dans les Vaisseaux semblables, les quarrés de la hauteur de la mâture doivent être comme les cubes des dimensions simples des Navires.* Selon la seconde règle, *les hauteurs des mâts doivent être proportionnelles aux largeurs des Navires, dont les longueurs sont les mêmes.* Ces deux règles étant admises, on peut se prévaloir de ce qu'il y a de meilleur dans les dispositions ordinaires ; on cherchera la hauteur de la mâture de chaque Navire, comme s'il étoit semblable à ceux du troisième rang, tels qu'on les construit aujourd'hui : & il n'y aura plus ensuite qu'à retrecir ou élargir les voiles, & diminuer ou augmenter la hauteur de la mâture déjà trouvée, selon que le Navire sera plus ou moins large.

On peut trouver encore quelque autres maximes qui tendront au même but que les précédentes ; c'est-à-dire qu'elles serviront à disposer la mâture d'un Navire aussi-tôt qu'on en aura un autre bien mâté. En voici, par exemple, une troisième. *Dans les Navires de même grosseur, mais de différentes longueurs, les hauteurs de la mâture doivent être comme les racines quarrées des longueurs.* Car la force relative qu'ont ces Navires pour soutenir la voile, ou pour s'opposer à l'inclinaison, est proportionnelle à leur longueur, puisqu'elle ne change par aucun autre endroit. Le centre de gravité ne monte ni ne descend ; c'est seulement la pesanteur totale qui est plus ou moins grande, selon la longueur ; & le moment où la force relative doit donc suivre le même rapport. Mais aussi-tôt que la largeur du Vais-

seau ne change pas, celle des voiles est aussi toujours la même; & l'effort relatif qu'elles font pour faire incliner le Navire, ne dépend que de leur seule hauteur, mais en dépend deux fois; l'une, parce que cette hauteur fait croître la surface exposée au vent; l'autre, parce que le centre d'effort se trouve plus élevé, ou le bras de levier plus long. Ainsi le moment où la force relative des voiles croît comme le quarré de leur hauteur; & il faut dans le cas de l'équilibre, que ce quarré soit proportionel à la longueur du Navire qui exprime l'autre moment: & par conséquent les hauteurs même des mâts ou des voiles, doivent être comme les racines quarrées des longueurs des Navires. Suposé qu'en laissant à un Vaisseau la même grosseur, c'est-à-dire la même largeur & la même profondeur, on voulût le faire quatre fois ou neuf fois plus long, il faudroit, selon cela, faire seulement sa mâture deux fois ou trois fois plus haute. Enfin si on réunit cette troisième règle avec la seconde établie ci-dessus (qu'il faut donner aux Navires de même longueur, mais de différentes grosseurs, une mâture, dont la hauteur soit comme leur largeur,) on en concluëra ce quatrième Théoreme; que *dans les Vaisseaux de différentes longueurs & de différentes grosseurs, les hauteurs de la mâture doivent être en raison composée des largeurs des Navires, & des racines quarrées de leur longueur, ou qu'elles doivent être comme les produits des largeurs par les racines quarrées des longueurs.*

I V.

Toutes ces choses deviendront sans doute plus évidentes par les diverses remarques que nous ferons dans la suite; principalement lorsque nous entreprendrons de parler de la Mâture d'une manière plus exacte. Mais ceux des Lecteurs qui ne sont point accoutumés à suivre les raisonnemens géométriques, peuvent par l'expérience, se convaincre aisément de la vérité de la plûpart des choses que nous avançons. Si la hauteur de la mâture doit être proportionnelle dans tous les Navires, elle doit l'être aussi-

bien dans les plus petits que dans les plus grands ; & si au contraire cette règle est défectueuse , le vrai moyen de manifester son défaut , & de le faire , pour ainsi dire , toucher au doigt , c'est de l'appliquer à un Vaisseau monstrueux par sa grandeur , ou à un Navire si petit , qu'il n'ait qu'un ou deux pieds de longueur. On peut de cette sorte mettre aisément la règle à une épreuve qui en doit être la vraie pierre de touche. Pendant que j'étois au Havre-de-Grace , & que toutes ces choses me rouloient dans l'esprit , je fis faire deux petits Navires parfaitement égaux , & sur la même forme , qu'une Frégate nommée *la Gazelle* , que le Roy faisoit alors construire , & qui étoit encore sur le chantier. Mes deux petits Navires avoient 15 ou 18 pouces de long ; je ne me souviens pas bien de leur grandeur exacte ; mais je sçai qu'on eut toutes les attentions possibles pour les rendre semblables à la Frégate , & qu'on en mâta un précisément de la même manière qu'elle devoit l'être. Je me chargeai de la mâture de l'autre que je ne voulus pas rendre absolument parfaite ; afin de ne changer la disposition ordinaire que le moins qu'il étoit possible. Enfin nous donnâmes précisément la même charge ou le même lest aux deux petits Navires : & nous les portâmes sur une pièce d'eau assez étendue , & où le vent qui étoit très-violent , se faisoit sentir avec beaucoup de force. A peine l'expérience fut-elle commencée , que le petit Navire entièrement disposé comme la Gazelle , versa cent fois , ou *fit capot* , au grand étonnement des spectateurs , qui ne considéroient pas que si on avoit eu le soin de proportionner tout , de rendre toutes les parties du petit Navire 50 ou 60 fois plus petites que celle de la Frégate qui nous avoit servi de modèle , ou n'avoit pas pû rendre le vent moins rapide ou moins fort ; & qu'on exposoit donc ce petit Navire à une vraie tempête , à une tempête si furieuse , que les grands Vaisseaux n'en avoient jamais éprouvé de telles. Il faut convenir que les voiles du petit Navire étant 60 fois moins hautes & moins larges , l'impulsion qu'elles recevoient , étoit 3600 fois moindre que celles qu'eussent reçues

reçues du même vent les voiles de la Frégate, & leur moment pour faire verser ce petit Navire, étoit 216000 fois plus foible. Mais la force qu'avoit la pesanteur du petit Navire pour le faire relever, étoit diminuée encore 60 fois davantage : car sa pesanteur même étoit déjà 216000 moindre, & appliquée qu'elle étoit à un bras de levier 60 fois moins long, elle devoit avoir 12960000 fois moins de force relative ou de moment. Après cela il n'étoit pas étonnant que le petit Navire qui avoit 60 fois moins de force à proportion que la Gazelle, pour soutenir la voile, ne résistât pas un seul instant à l'effort du vent, & qu'il n'y résistât pas même encore après qu'on eut serré une partie de ses voiles, & que beaucoup de personnes qui ne s'intéressoient peut-être que trop à sa conservation, eussent fait une infinité de divers changemens à sa mâture, pour sauver, s'il étoit possible, l'honneur des regles vulgaires.

Je ne ferai point difficulté d'avouer que celui que j'avois pris soin de mâter, versa aussi plusieurs fois ; & cela, comme je l'ai déjà dit, parce que je m'étois contenté de donner à sa mâture une disposition plus approchante de la parfaite, en ne retranchant simplement que les principaux défauts de la disposition ordinaire, & que le vent qui étoit très-impétueux, souffloit de tems en tems avec encore plus de violence. On dit souvent, lorsqu'il s'agit de machines, qu'elles ne réussissent pas toujours aussi-bien lorsqu'elles sont exécutées en grand, que lorsqu'elles sont exécutées en petit : au lieu que c'est tout le contraire dans l'Architecture Navale. Les expériences faites en petit, sont toujours très-peu favorables par les raisons que j'ai exposées. Mais l'autre petit Navire, après qu'on eût serré une partie de ses voiles, versoit encore 20 ou 30 fois contre le mien une, & s'obstinoit, pour ainsi dire, à montrer toujours que la mâture ne doit pas être proportionnelle aux autres parties du Vaisseau. Je ne me permis outre cela aucun changement ; j'avois établis les mâts dans d'autres places ; j'avois donné aux voiles des dimensions différentes, & je n'avois été aidé à disposer toutes ces

choses par aucune tentative précédente, ni par aucun tâtonnement. Je voulu que mon petit Navire portât toujours les voiles hautes ; quoiqu'elles fussent beaucoup plus grandes que toutes celles de l'autre, & je me fis une loi de n'y toucher pour les orienter, que lorsqu'il fut question de l'essayer dans quelqu'autre route. Il affronta la tempête dans cet état ; & parvenu à l'extrémité de la piece d'eau qui avoit 30 ou 40 toises de largeur, & qu'il franchissoit avec une vitesse ignorée des Marins, son mouvement le portoit toujours à terre, en le faisant s'élancer & sauter sur le bord.

C H A P I T R E V I I .

*Des principaux Cordages qui soutiennent la Mâture ;
& qui servent à la manœuvre des voiles.*

I.

IL seroit difficile de donner une explication complète de tous les cordages qui servent dans les Vaisseaux, à cause de l'imperfection des figures qu'il faudroit employer pour cela ; ainsi c'est ici principalement où nous devons nous attacher à être court. Les *haubans* sont ces espèces d'échelles de cordes qui sont aux deux côtés de chaque mât ; ils servent à le soutenir, en même tems qu'ils servent aux Matelots à monter à la hune, par le moyen des *ensfleures*, ou de ces cordes horisontales qui sont comme des échelons. Comme les haubans tirent le sommet du mât d'un côté & d'autre fort obliquement, chacun ne travaille pas beaucoup à le soutenir ; & c'est pour cela qu'on est obligé d'en mettre plusieurs, quelquefois dix de chaque côté, & de leur donner une grosseur considérable. Cette grosseur est ordinairement pour ceux du grand mât, égale au tiers de celle du maître cable. Les mâts supérieurs ont

aussi leurs haubans : ceux , par exemple , du grand mât de hune viennent se rendre au bord de la circonference de la hune qui est au haut du grand mât. Mais ces haubans qui s'éloignent si peu du pied du mât qu'ils sont destinés à soutenir , ne font presque aucun effort : les mâts supérieurs sont soutenus bien davantage par d'autres cordages qui descendent de leur sommet jusqu'aux côtés même du Navire , & qu'on nomme *cale-haubans*.

Pendant que les mâts sont soutenus à droit & à gauche par les *haubans* & les *cale-haubans* , & qu'ils ne peuvent pas tomber non plus vers la prouë ; parce que quelques-uns de ces cordages se trouvent beaucoup en arriere du mât ; il y en a d'autres destinés à les empêcher de tomber vers la poupe , & on les nomme *étays* , comme je crois l'avoir déjà dit. Ces étays servent principalement dans le tangage , ou lorsque le Navire souffre ces balancemens très-vifs , auxquels il est quelquefois exposé dans le sens de sa longueur. La prouë tombant avec force par la propre pesanteur du Vaisseau , la mâture qui n'est pas déterminée par son poid à prendre le même mouvement , resteroit en arriere , ce qui la feroit infailliblement rompre vers le pied , sans que le haut de chaque mât étant comme lié à la prouë par le moyen des étays , est obligé de suivre le Navire , malgré sa chute précipitée. On nomme *grand étau* celui KL (Fig. 37.) qui partant du haut du grand mât , vient se rendre au beaupré proche de l'étrave ; & il a de grosseur ordinairement les deux tiers de celle du maître cable. Les autres mâts ont aussi leurs étays. L'explication que nous venons de faire de leur usage , montre assez qu'ils sont absolument nécessaires.

Outre ces cordages qui soutiennent les mâts , il y en a d'autres qui soutiennent les vergues ; tels sont les *itaques* & les *driffes*. La vergue qui peut glisser le long du mât , sans avoir la liberté de s'en éloigner , à cause d'une espece de colier ou de chapelet nommé *racage* , qui étant attaché à la vergue , fait le tour du mât , est suspenduë par sa *driffe* , & ce cordage passe dans une poulie qui est soutenuë elle-

S ij

même par l'*itague*. On se sert de la drisse lorsqu'on veut *hisser* ou *caler* la vergue ; c'est-à-dire la faire monter ou descendre ; mais on ne touche à l'*itague* que lorsqu'on veut hausser ou baisser la poulie qui sert comme de point d'appuy. Les vergues sont encore soutenues par leurs deux extrémités par les *balancines* , qui servent en même tems à les élever , lorsqu'on le veut , par l'une ou l'autre extrémité. Ces balancines ne sont jamais simples : pour diminuer le travail des Matelots, il y a toujours plusieurs poulies ou plusieurs moufles qui multiplient la force , & la partie du cordage qui est *frapée* ou *amarée* à demeure , se nomme le *dormant* , & c'est la même chose dans plusieurs autres manœuvres. Nous avons représenté dans la Figure 37. les balancines de toutes les vergues : KM & KN sont celles de la grande vergue ; mais nous n'avons pas pu marquer la partie de ces cordages qui descendant le long du mât, vient tomber dans le Vaisseau. Les extrémités des balancines de toutes les autres vergues, ont aussi leur place assignée dans le Navire , & toujours la même : c'est la même chose de tous les autres cordages, afin que les Matelots sçachent de jour & de nuit où il faut les aller chercher.

La plupart des autres manœuvres servent principalement à orienter les voiles. Les *bras* sont des cordages appliqués aux extrémités des vergues , & qui sont destinés à les mouvoir horizontalement. Ces cordages vont vers la poupe , & c'est pour cela qu'on dit qu'on *brasse* une vergue , lorsqu'on tire une de ses extrémités vers l'arrière. A chaque des deux angles d'en bas de la voile , ou à *ses points* , il y a d'autres cordages qui ne servent qu'à l'orienter. Il y a un de ces cordages par le moyen duquel on la tire de l'arrière , & c'est l'*écoute* QR ou OS ; & lorsque par le moyen de cette manœuvre on tire effectivement l'angle ou le *point* de la voile vers la poupe , on dit qu'on *la borde*. Un autre cordage appliqué aussi à chaque coin d'en bas , sert à la tirer en avant ; c'est ce qu'on nomme *amurer* , & le cordage QP qui sert à ce mouvement , se nomme le *coïet*.

Ainsi *border* la voile, c'est tirer un de ses angles vers l'arrière par le moyen de l'*écoute* : & l'*amurer*, c'est la tirer au contraire en avant par le moyen du *coüet*. Dans les routes Fig. 37. obliques, la voile, au lieu d'être située perpendiculairement à la quille, est située obliquement ; & il est clair qu'elle est alors *bordée* d'un côté, & *amurée* de l'autre. La grande voile (Fig. 37.) est amurée en P ; elle est amurée du côté droit du Navire, ou du côté de *tribord*, pendant qu'elle est bordée de l'autre côté, du côté gauche, ou de *bas bord*. La droite & la gauche dans le Vaisseau se prennent toujours par rapport au spectateur tourné vers l'avant ou vers la prouë.

Lorsqu'on amure la grande voile, il y a un terme où l'on tâche souvent de parvenir. Le coüet passe dans le trou P, qu'on nommoit *dogue d'amure*, à cause sans doute, du mufle dont on l'ornoit, & qu'on nomme à présent *porte-amure* ; & on tâche d'en faire approcher le plus qu'on peut le coin de la voile. Pour déterminer la place du *porte-amure*, les constructeurs prennent ordinairement la longueur du maître bau, ou la largeur du Navire ; & ils la portent horizontalement & obliquement sur le pont, depuis le grand mât jusqu'à la rencontre du bord ou du flanc du Vaisseau du côté de l'avant, & ils ont l'endroit requis P. Comme le Navire conserve à peu près la même largeur sur une longueur assez considérable, l'opération précédente, pour déterminer la place du *porte-amure*, fait que la voile amurée, autant qu'il est possible, forme un angle d'environ 30 degrés avec la quille, & ne peut pas en faire un moindre. Cette opération oblige encore à ne donner par en bas à la grande voile qu'une largeur environ double du Vaisseau : mais par en haut rien n'empêche de rendre la voile plus large, en allongeant la vergue. Je crois qu'il n'y auroit point d'inconvénient à rendre cette largeur égale à deux fois & demie celle du Vaisseau, comme je le dirai dans la suite.

Les voiles inférieures sont amurées & bordées sur le corps même du Navire ; au lieu que les supérieures sont

Fig. 37.

toujours bordées sur les vergues des voiles qui sont au-dessous. Le grand hunier, par exemple, est bordé sur la grande vergue MN. Cette disposition est cause que les voiles supérieures sont toujours mieux tendues, & que non-seulement elles font plus d'effet, mais qu'elles ne rendent pas non plus le Navire sujet dans les routes obliques à une si grande *dérive* ou déviation : C'est - à - dire, qu'elles ne le font pas singler sur une ligne si différente de la direction de la quille. Les voiles basses sont au contraire extrêmement courbées, & pendant qu'une partie de leur surface pousse dans le sens de la route, une autre pousse de côté, & quelquefois une troisième pousse de l'arrière, & nuit par conséquent à l'effet qu'on se propose. C'est ce qu'on doit tâcher d'éviter avec soin ; & c'est pourquoi il est avantageux, quand on le peut, de porter avec des *boutes-hors*, ou par quelques pièces de bois, les coins inférieurs des voiles basses considérablement au dehors du Navire, afin de les tendre plus parfaitement.

Les *boulines* servent aussi à procurer cette plus grande tension. Elles sont appliquées aux deux côtés de la voile, & on les tire vers l'avant, lorsqu'on veut empêcher la voile de se courber, & qu'on veut que le vent la frappe mieux. Il seroit inutile de faire usage des boulines, lorsqu'on marche vent en poupe, ou lorsqu'on présente seulement un peu le côté au vent, ou qu'on va *vent large*, pour parler comme les Marins. On ne s'en sert ordinairement que lorsqu'il s'agit de *pincer le vent*, ou de lui présenter la proue ; ce qu'on nomme *singler au plus près*, ou *aller à la bouline*.

D'autres manœuvres ne servent qu'à ferrer les voiles, ou à les plier avec facilité. Telles sont celles qu'on nomme les *cargues*, qui n'ont d'autre usage que d'élever la voile vers la vergue ; & comme les voiles sont souvent fort grandes & fort pesantes, chacune a plusieurs cargues. Il y en a deux, & ce sont celles de *fond*, pour élever le milieu du bas ou de la *bordure*. Deux autres, & ce sont les *cargues points*, sont appliquées aux coins inférieurs de la voile, &

enfin deux autres qui partent d'environ le milieu des deux côtés, se nomment *les cargues boulines*. Il suffit de peser dans le Vaisseau sur toutes ces manœuvres, pour élever dans un instant toutes les parties de la voile à la fois, & cette manière de la plier, se nomme *la carguer*.

On regarde ordinairement dans la Marine comme une chose très-difficile, de régler la longueur de toutes ces manœuvres, & d'une prodigieuse quantité d'autres que nous obmettons. On ne veut pas s'assujettir à monter au haut des mâts, & aller mesurer actuellement la longueur qu'il faut donner à chacune; & pour se dispenser de cette peine, il faut que les Marins se chargent la mémoire de je ne sçai combien de petites règles. La longueur des haubans, par exemple, doit être plus grande que la hauteur des mâts au-dessus du Navire, puisque ces haubans sont comme les hypothéneuses d'un triangle rectangle, dont la hauteur du mât est un des côtés, & la demi-largeur du Navire l'autre. Un Géomètre, en faisant une figure en petit, pour représenter les contours & le chemin de chaque manœuvre, ne seroit jamais embarrassé dans ces sortes de déterminations; mais les Marins qui en sont chargés, ne sont ordinairement rien moins que Géomètres. Nous ne pouvons pas entrer ici dans le détail de toutes ces choses: tout ce que nous pouvons faire de plus, c'est d'expliquer le moyen dont on se sert souvent pour trouver la longueur des manœuvres pour les Vaisseaux de toutes sortes de grandeurs; aussi-tôt qu'on a une figure qui marque ces longueurs, pour un Navire d'une grandeur déterminée, & qu'on suppose que toutes ses parties sont proportionnelles à celles des autres.

II.

Manière de former une échelle pour trouver sur la même figure, la longueur des manœuvres pour tous les Vaisseaux.

On fait une figure à peu près semblable à la trente-septième, dans laquelle on marque la longueur exacte des mâts, des vergues & des principales manœuvres. La

Fig. 37.

perspective ne doit rien alterer dans cette figure ; ainsi au lieu de représenter les vergues dans leur situation naturelle , on est obligé de les étendre dans le sens même de la longueur du Navire , ce qui n'empêche pas de les accompagner des balancines , des bras , &c. Cette figure étant faite avec soin , il est évident qu'il n'est plus nécessaire que d'avoir une échelle , pour pouvoir mesurer les dimensions de chaque partie , soit en pieds , soit en brasses. Toute la difficulté consiste à faire en sorte que cette échelle puisse servir pour tous les Vaisseaux. *L'échelle composée* qu'il faut pour cela , se trouve entre les mains de plusieurs Marins , & l'usage s'en est introduit depuis assez long - tems , pour qu'on n'en connoisse pas l'Auteur : presque toutes celles qu'on a , ne sont plus aussi que des copies les unes des autres , qui sont continuellement devenues plus imparfaites ; & si la construction en est souvent ignorée , la démonstration l'est encore plus.

Fig. 37.
& 39.

Suposé que la droite AB (Fig. 39.) soit divisée en parties égales , & puisse servir d'échelle , lorsqu'on veut mesurer toutes les parties du Navire de la Figure 37 , que nous feindrons avoir 20 pieds de bau ou de largeur , il est évident que pour trouver sur la même Figure 39 , les dimensions des parties ou des manœuvres d'un Navire qui a deux fois plus de bau ; il n'y a qu'à les mesurer sur une échelle DE , dont les parties égales soient deux fois plus petites. Car une vergue , par exemple , mesurée sur cette seconde échelle , se trouvera contenir deux fois plus de pieds de longueur ; & c'est ce qui doit arriver effectivement , si toutes les parties des Navires sont proportionnelles. Par la même raison si le Navire pour lequel on demande la longueur des manœuvres , a 30 pieds de bau , au lieu de 20 , toutes les manœuvres seront plus grandes dans le même rapport ; & pour trouver ces longueurs en brasses ou en pieds , sur la même Figure 37 , il faudra donc les mesurer sur une droite LN (Fig. 39.) divisée en parties égales ; mais dont les parties soient plus petites que celles de AB , dans le rapport de 20 à 30. *L'échelle composée* doit être

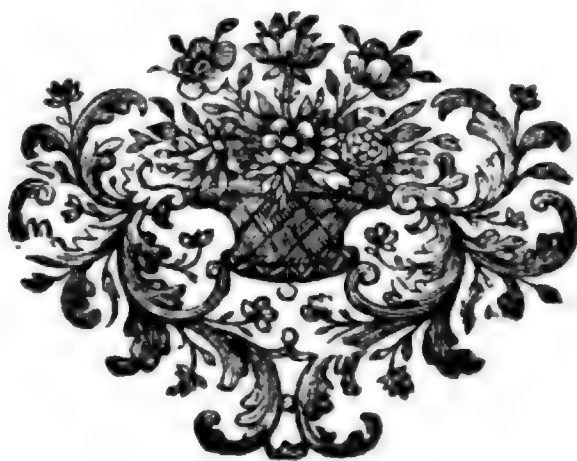
être ainsi comme formée d'une infinité d'échelles particulières. On prendra toujours la grandeur des parties ou des manœuvres sur le Navire de la Figure 37, mais on les portera ensuite sur différentes lignes de l'échelle composée (Fig. 39.). Pour chaque différente grandeur de bau, il y aura une échelle différente; & on sçaura toujours de laquelle on doit se servir, en jettant les yeux sur les nombres marqués le long de la ligne droite ADC.

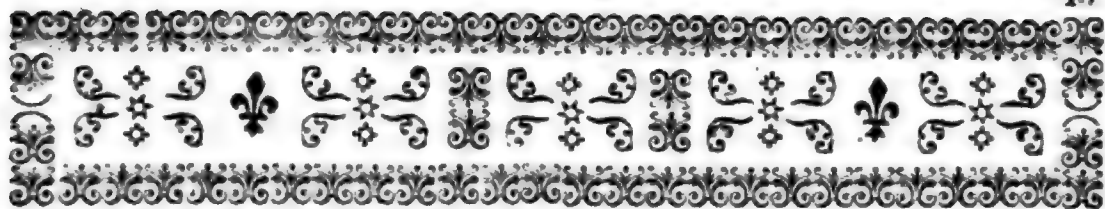
Cette simple exposition nous fournit la maniere de construire aisément l'échelle dont il s'agit, laquelle peut avoir de grands usages en plusieurs autres rencontres, qui n'ont aucun rapport à l'Architecture Navale. Toutes les parties correspondantes des différentes échelles, doivent être interceptées entre des lignes droites ou transversales qui concourent toutes dans un même point C, pris à volonté sur AC. J'éleve à AC une perpendiculaire CF, il n'importe de quelle longueur, & par son extrémité F, je tire une parallèle FG à CA, & sa longueur FG est encore arbitraire. Enfin tirant par le point G une droite indéfinie GH parallèle à FC, je la divise en parties égales d'une grandeur encore arbitraire, à commencer du point G; & il ne reste plus qu'à tirer du point F des droites FA, FL, FD, &c. par tous les points de division de GH, & elles viendront indiquer sur AC les points où on doit placer les échelles particulières AB, LN, DE, &c.

Les parties GI, GK, &c. de GH, représentent les longueurs des baux, ou au moins leur sont proportionnelles: c'est pourquoi je transporte sur AC les nombres qui sont marqués sur GH; & ces nombres indiquent les longueurs des baux, ou indiquent les échelles dont il faut se servir pour chaque Navire. Chaque triangle, comme FGK étant semblable à son correspondant LCF, on a cette proportion; FG est à GK, comme CL est à FC, laquelle nous apprend que les rectangles des lignes comme GK par CL, sont continuellement égaux à celui de FG par FC qui est constant. Ainsi les lignes GK & CL sont en raison réciproque l'une de l'autre; & par conséquent GK & LN sont

T

146 T R A I T É D U N A V I R E ,
 aussi en raison réciproque , puisque les lignes CL & LN
 sont continuellement en même raport. C'est-à-dire donc
 que toutes les longueurs des diverses échelles particu-
 lieres AB , LN , &c. sont en raison inverse des longueurs des
 baux qu'indiquent les parties de GH à commencer au point
 G , ou qu'indiquent les nombres marqués le long de AC.
 Si le bau d'un Navire est double de celui d'un autre , si
 l'un est de 40 pieds & l'autre de 20 , l'espace GM sera dou-
 ble de GI ; & par conséquent CA sera double de CD , de
 même que AB de DE , & ces deux dernieres lignes seront
 propres à former deux échelles , sur lesquelles les mêmes
 parties du Vaisseau se trouveront avoir deux valeurs diffe-
 rentes , double l'une de l'autre. *L'échelle composée* étant ache-
 vée , on peut effacer toutes les lignes qui n'ont servi qu'à
 sa construction. La droite AC se trouve ici divisée en pro-
 gression harmonique , parce que les transversales sont des
 lignes droites : mais on pourroit diviser AC en parties éga-
 les , ou tirer toutes les paralleles à une égale distance les
 unes des autres ; & alors les transversales deviendroient
 des arcs d'hyperboles.





T R O I E' M E S E C T I O N.

De la résistance ou de la force dont les parties du Vaisseau doivent être capables.

CE n'est que depuis que nous connoissons l'usage auquel sont destinées les diverses parties du Navire, que nous sommes en état de sçavoir la force qu'elles doivent avoir, & de régler la grosseur qu'on doit leur donner. Le fameux Galilée est le premier qui en traitant de la résistance des solides, a eu la gloire d'inventer une nouvelle science; mais depuis lui plusieurs Auteurs ont extrêmement perfectionné ce sujet. Tels sont Messieurs Blondel, Marchetti, Mariore, Leibnitz, Varignon, Parent, &c. M. de Musschenbroek vient en dernier lieu de nous donner, sous le nom d'introduction à cette matiere, une Dissertation qu'on peut aussi regarder comme un Traité. Nous nous contenterons, sans nous trop étendre, & en éloignant le plus que nous pourrons, les difficultés d'une spéculation qui a été poussée fort loin, d'insister ici sur les choses de pratique, que les Constructeurs & les Marins sont principalement intéressés de sçavoir.

C H A P I T R E P R E M I E R.

De la résistance absolue des matériaux qui entrent dans la Construction.

I.

NOUS n'avons que peu de choses à dire sur la force absolue des bois; c'est-à-dire sur celle dont ils sont

T ij

capables lorsqu'ils travaillent dans le sens de leur longueur. On voit assez évidemment que dans les bois de même espèce, cette force doit être proportionnelle à peu près à la grosseur absolue de la pièce, ou à l'étendue de sa coupe perpendiculaire, puisque c'est de cette étendue que dépend le nombre des fibres qui résistent. Ainsi on peut juger, en cas de besoin, de la force qu'a une grosse pièce de bois, comme une poutre, par celle qu'ont des bâtons du même bois, sur lesquels il est facile de faire des essais. On peut regarder, par exemple, comme un principe d'expérience, qu'une règle de chêne qui est quarrée, & qui a un quart de pouce pour chaque côté de son épaisseur, ne se rompt, lorsqu'on la tire dans le sens de sa longueur, que lorsqu'elle est chargée d'environ 1000 livres. Il seroit peut-être à propos de répéter cette expérience; mais supposé qu'elle soit bien faite, une règle du même bois qui a de grosseur un pouce en quarré, doit soutenir 16 fois plus, & ne doit se rompre que par 16000 livres ou 8 tonneaux; & une poutre qui a un pied en quarré d'épaisseur, par 2304000 livres ou 1152 tonneaux.

Il s'en faut beaucoup que le bois de sapin qui entre aussi très-souvent dans la construction des Vaisseaux, ait autant de force; il n'a gueres que les $\frac{2}{3}$ de celle du chêne, lorsque l'un & l'autre sont tirés selon leur longueur. Mais ce rapport peut varier selon la maniere dont le bois est nourri. Il y a une très-grande difference entre les pesanteurs spécifiques des divers bois de sapin dans le tems même qu'ils sont également secs; & je ne doute pas qu'il ne se trouve à peu près la même variété sur leur force. C'est ce que je ne faisois que soupçonner lorsque j'étois au Pérou, & que je travaillois à ce Traité: mais j'apprends à mon retour en France, que M. de Buffon a fait plusieurs épreuves sur le chêne, qui prouvent au moins que ce dernier bois est effectivement plus fort dans le même rapport qu'il est plus pesant. Lorsqu'on fera des essais sur la résistance des bois, il est à propos de les faire sur des pièces prises à peu près au milieu du rayon de l'arbre. Si on prenoit un morceau

de bois vers le centre, on le trouveroit beaucoup plus fort; & si on le prenoit au contraire vers l'écorce, on le trouveroit plus foible. C'est ce qui est vrai à l'égard de tous les arbres, si l'on excepte les palmiers, & encore quelques autres especes de bois, dont on ne se sert gueres, & qu'il est facile de distinguer. Dans les ouvrages de charpente, on rejette toujours l'aubier, c'est-à-dire l'accroissement qu'a reçu l'arbre sur toute sa circonference, pendant le cours de la dernière année. Mais ce qui étoit aubier une année, devient bois parfait la suivante; & cependant il n'est pas encore d'une si forte consistance que le bois qui est plus voisin du centre. Cette différence est cause que généralement parlant, une poutre quarrée n'est pas si forte à proportion qu'une piece de bois ronde, prise au-dedans de la quarrée, parce que tous les angles de cette dernière sont formés de bois qui n'a pas encore acquis la compacité de l'autre. Selon toutes les apparences, c'est de la force même du bois qui est vers le centre de l'arbre, que naît la facilité qu'il a à se gâter. Les canaux, à force de recevoir de nouvelle matiere, se rétrécissent, & ne permettent plus également la circulation: le suc se corrompant par son séjour, l'arbre s'altère, & il commence toujours à le faire par le milieu. C'est aux Charpentiers à saisir l'arbre avant cet accident. L'arbre se perfectionne jusqu'à un certain terme, dans lequel il ne persiste pas toujours assez; & ensuite il déperit.

I I.

De tous les métaux celui qu'on employe pour la force le plus ordinairement, est le fer, parce qu'il est le plus commun. Il ne s'en faut gueres aussi qu'il ne résiste le plus de tous. L'or seul est plus fort d'environ une neuvième partie, & on peut prendre pour principe d'expérience, lorsqu'il ne s'agit de comparer que des barres qui ont peu de gros-seur, qu'un fil de fer d'une ligne de diamètre ne se rompt que lorsqu'il est chargé d'environ 650 livres. Ainsi une barre de fer cylindrique d'un demi-pouce de diamètre, ne

seroit exposée à se rompre que lorsqu'elle est chargée de 23400 livres ; ou d'environ 12 tonneaux. Le cuivre rouge n'a qu'environ les $\frac{2}{3}$ de la force du fer : au lieu que le laiton résiste davantage que le cuivre rouge ; il a environ les $\frac{4}{5}$ de la force du fer. Il est à propos aussi de répéter les expériences, lorsqu'on veut employer ces métaux : car l'hétérogénéité à laquelle ils sont sujets, peut apporter beaucoup de différence dans leur force, principalement dans celle du fer. La manière de forger ce dernier métal, doit aussi y causer du changement. On juge assez qu'on ne peut pas forger, quelque soin qu'on y mette, une barre de fer qui a plusieurs pouces de diamètre, comme la verge d'une ancre, avec le même succès qu'on forge une verge moins grosse. On ne réussit pas également par le marteau à obliger les parties les plus intimes à s'arranger toutes dans le même sens & dans celui de la longueur. Lorsqu'il s'agit au contraire d'un simple fil de fer, le passage par la filière le rend plus serré, en même tems qu'il contribue à lui procurer cet arrangement de parties qui doit tant augmenter sa force. Il est fâcheux qu'en rapportant les règles que nous ont données differens Auteurs sur la résistance des corps solides, on ne puisse jamais se dispenser d'avertir qu'il ne faut pas trop s'y fier, & qu'il seroit à propos de soumettre toute cette matière à de nouvelles épreuves.

I I I.

Il est encore une autre espèce de force absolue des corps solides, qu'il seroit à propos d'examiner. C'est celle qui empêche, par exemple, deux planches chevillées ou clouées ensemble, de glisser l'une sur l'autre, lorsqu'on les pousse de côté. Il n'intervient aucune espèce de levier dans cette action, aussi-tôt que les chevilles & les cloux n'ont aucun jeu, & que les deux parties doivent se détacher l'une de l'autre par la rupture, en conservant toujours un parfait parallélisme. Ce sont toutes les fibres des chevilles ou des cloux qui résistent à l'effort latéral ; mais com-

me elles sont obligées de se coucher les unes sur les autres, je ne doute pas, quoique je ne l'aye pas expérimenté, qu'elles ne fassent moins de résistance, que lorsque l'effort se fait selon leur longueur.

CHAPITRE II.

Des divers moyens qu'on peut employer, pour empêcher les Vaisseaux de s'arquer.

TOUS ces essais serviront non-seulement à juger de la force de l'assemblage de toutes les parties du Navire, mais aussi à donner à chaque pièce la grosseur qu'elle doit avoir, pour rendre le Vaisseau durable, & pour l'empêcher de s'arquer. On a déjà parlé de cet accident, dont les suites ne sont que trop fâcheuses : On proposera maintenant quelques expédiens pour tâcher de le prévenir. Il est difficile que le Vaisseau s'arque en présentant sa concavité en bas, sans que sa largeur ne diminue, & sans que ses ponts ne s'allongent en même tems. C'est ce qu'on voit évidemment lorsqu'on prend une tasse en gondole, & qu'en la saisissant par les deux extrémités, on tâche de la courber en dessous : On la rétrécit en même tems qu'on l'allonge par en haut. La même chose doit arriver aux Navires qui s'arquent : Ainsi pour les rendre plus solides, on doit se proposer d'empêcher ces deux effets.

Si les baux au lieu d'être courbes, étoient parfaitement droits, il me paroît qu'ils auroient beaucoup plus de force pour empêcher le Navire de se retrecir. On assure qu'il est indispensable que les ponts ayent de la pente des deux côtés ; je m'en raporte : Mais on pourroit mettre au-dessus des baux une seconde pièce qui donnât cette convexité ou cette *tonture* qu'on juge nécessaire ; & on se dispenseroit ensuite de donner cette extrême courbure au maître bau, qui est cause que presque toutes les lignes droites

qu'on peut concevoir tirées d'une extrémité à l'autre , sortent de la pièce en dessous vers le milieu. Il n'y a pas de doute qu'une courbure si considérable , lorsque le poids de l'artillerie qui est au-dessus , ne tend point à la détruire & à redresser la pièce , n'ôte au bau la plus grande partie de la force qu'il auroit pour s'opposer au rétrécissement du Navire. Mais ce qui paroîtroit encore beaucoup plus important , c'est que les baux vinssent se terminer aux membres mêmes , & non pas aux bordages : c'est-à-dire qu'au lieu de les placer à côté des membres , on les mît en dedans en les faisant plus courts. Dans la première disposition les cloux & les chevilles peuvent céder un peu , peuvent même avoir quelque jeu , ce qui doit permettre aux deux flancs de s'approcher ; au lieu que si le bau étoit renfermé dans la couple même , les deux flancs seroient maintenus , malgré les plus grands efforts , à la même distance l'un de l'autre.

Lorsque le Navire s'arque , les ponts en second lieu se ralongent. Mais il semble aussi qu'on fait dans la Marine tout ce qui est nécessaire pour faciliter ce ralongement. Les ponts , au lieu d'être droits de la poupe à la prouë , sont considérablement courbes , ayant leurs deux extrémités plus hautes que le milieu. Ainsi sans se ralonger réellement , ils n'ont qu'à se redresser , ils deviendront comme plus longs , & ils permettront aux deux extrémités du Navire de tomber un peu. Qu'on fasse au contraire tous les ponts parfaitement droits , qu'on les forme de bordages de chêne suffisamment épais & bien endentés les uns avec les autres ; alors ils seront par rapport à l'assemblage de la quille , de l'étrave & de l'étambot , ce qu'est une corde roidie par rapport à l'arc qu'elle bande : au lieu qu'en rendant les ponts courbes , comme on le fait mal-à-propos , c'est précisément la même chose que si on prétendoit qu'un arc ne se débandât pas , lorsque sa corde est lâche. Si l'on craignoit que les bordages des ponts , quoique forts & quoique parfaitement tendus , ne résistassent pas assez , il y a les illoires qui vont d'une extrémité du
Navire

Navire à l'autre, en passant par les deux côtés des écoutilles; on pourroit les rendre plus épaisses, & ménager encore moins le fer, pour les lier plus solidement avec les baux.

Il faut remarquer qu'il n'y a point d'autres pièces de bois situées si avantageusement, pour s'opposer à l'accident qu'il s'agit de prévenir. La plus grande partie des bordages qui revêtissent la Carène, bien loin de s'y opposer, contribuent plutôt à le faire augmenter. Tous ceux de dessous n'ayant été assujétis que par force à la figure du Vaisseau, font toujours quelque effort pour se redresser, & si cet effort étoit considérable, il est évident qu'il seroit nuisible. Les bordages plus hauts, & même les presceintes, qui sont des bordages beaucoup plus épais, qui servent comme de ceintures par en haut au Navire, font peu d'effet, vu leur courbure. Mais rien ne se perd de la force des illoires & des bordages du pont : elle s'oppose toute entière à la chute de la prouë & de la poupe, pourvû qu'on la mette en action; & pour cela il suffit que les ponts ayent assez de force, & soient parfaitement droits; sans qu'il importe d'ailleurs qu'ils soient parallèles à la quille, ou qu'ils soient moins élevés vers l'avant que vers l'arrière, comme ils l'ont été jusqu'à présent.

Si cette précaution ne suffit pas, on pourroit avoir recours à l'expédient suivant, qui paroît d'une application assez facile. On soutiendrait les baux de distance en distance par le milieu par plusieurs pièces de bois verticales, qui s'appuyeroient sur la carlingue, à peu près comme le représente la figure 40. Ces pièces de bois ou fortes épontilles, sont marquées par ON, ML, &c. il n'en faudroit, à ce que je crois, que 7 ou 8 dans les plus grands Vaisseaux; & on mettroit ensuite des barres de fer qui descendissent de la tête de ces épontilles au pied de l'autre, comme FH, GD, FM, LO, &c. en même tems que d'autres barres de fer lieroient toutes les têtes N, L, F, &c. les unes aux autres. Deux des barres de fer obliques descendroient de la tête de l'épontille FE du milieu : car

V

il faudroit donner à ces barres obliques une disposition contraire dans la partie de la prouë & dans celle de la poupe. Il suffiroit , à ce que je crois , qu'elles eussent toutes environ deux pouces de diamètre dans les plus grands Vaisseaux ; ce qui les rendroit capables d'un effort absolu de plus de 180 tonneaux. Elles faisoient par de bons cercles le haut des pièces de bois ; & celles qui descendent obliquement , embrasseroient en forme d'étriers non-seulement la carlingue , mais même la contre-quille. Les dernières barres de fer IK & NP , viendroient se rendre à l'étrave & à l'étrambot qu'elles embrasseroient aussi par de forts étriers. Mais il faudroit que la longueur de toutes ces barres de fer se pût racourcir un peu ou par des clavettes , ou par des coins , à cause de la difficulté qu'il y auroit en les mettant en place , de leur donner d'abord la juste longueur qu'elles doivent avoir. La quantité de fer qu'il faudroit pour tout cela ne seroit pas considérable ; elle ne seroit gueres que la moitié de celle qui est nécessaire pour les ancres : mais on n'auroit point à se plaindre , s'il falloit en employer une quantité deux ou trois fois plus grande.

Notre attention à proposer ces expédiens , ne doit pas nous faire en oublier un autre qui est déjà en usage , & que nous devons à feu M. Gobert , Sous-Inspecteur de Construction. Il consiste à poser les bordages qu'on nomme végres , & qu'on applique sur les membres dans le Vaisseau , non pas parallèlement à ceux de dehors , mais obliquement. Cette pratique ne peut avoir que d'excellens effets : car lorsque les bordages tant intérieurs qu'extérieurs , étoient étendus dans le sens de la quille , il arrivoit lorsque le Navire s'arquoit , que les espèces de rectangles que forme l'assemblage des membres & des bordages , ne faisoient simplement que changer un peu de figure , en devenant des lozanges ; & il suffisoit pour cela que deux angles s'ouvrissent un peu , pendant que les deux autres se fermoient. Mais lorsque le végrage est posé obliquement , il sert comme de diagonale à ces rectangles , un &

simple changement d'angles ou de dispositions dans les côtés, ne suffit plus, pour que le Navire s'arque : il faut que ces bordages qui servent de diagonales, s'allongent ou se raccourcissent ; & c'est ce qui est incomparablement plus difficile. Il suit de-là que l'obliquité des végres est inutile dans le fond du Navire, ou dans la partie qui est presque horizontale ; mais qu'il faut l'employer principalement sur les parties des deux flancs qui sont à peu près verticales ; parce que c'est dans ces endroits où les rectangles formés par les membres & par les bordages extérieurs, changent le plus de figure dans l'accident qu'on veut éviter. Je ne sçaurois non plus approuver le végrage dont on fait des compartimens, ou comme un parquet. Toute interruption dans les ouvrages de charpente, qui doivent être solides, est dangereuse. Il vaut mieux que les végres soient de longues pièces ; & pour ne pas diminuer de leur longueur, je crois qu'il n'y auroit point d'inconvénient à les rendre toutes paralleles les unes aux autres dans leur obliquité, depuis l'avant jusqu'à l'arrière.

CHAPITRE III.

Où l'on examine si les moyens indiqués dans le Chapitre précédent, sont suffisans pour empêcher les Navires de s'arquer.

IL n'est pas difficile de s'assurer de la validité des expédiens qu'on vient d'indiquer, pourvû qu'on suppose néanmoins différentes choses que nous ne pouvons expliquer que dans la suite. Pour une plus grande simplicité, nous considererons le Navire comme s'il étoit formé de deux cônes, & de deux cônes égaux joints par leurs bases. La coupe verticale de ces deux cônes, selon leur longueur, est représentée par le triangle ABC (Fig. 41.) ou ce qui revient au même, les deux cônes qui forment la carène

Fig. 41.

Fig 41. du Navire , sont produits par une demi-révolution du triangle ACB autour du côté AB qui sert d'axe. Toutes les coupes de la carène , faites perpendiculairement à sa longueur , sont des demi-cercles , & on peut leur attribuer une épaisseur infiniment petite par tout égale , pour pouvoir les traiter comme des élémens des deux cônes. Le Navire est soutenu en chaque endroit par l'eau à proportion du volume qu'occupe sa carène ; ainsi il sera effectivement soutenu en chaque point de sa longueur , par une force proportionnelle à chaque de ces coupes ou tranches verticales élémentaires. Il sera soutenu au milieu par un volume d'eau égal à la tranche verticale qui a DC pour rayon ; de la même manière qu'il sera soutenu en I & en L par des volumes d'eau qui seront égaux aux tranches qui ont IO & LP pour semi-diamètre : c'est ce qu'on verra dans le Livre suivant. Mais puisque l'étendue des tranches est proportionnelle au carré de leurs rayons , & que ces rayons sont proportionnels aux distances AD , AI , BL à l'une ou à l'autre extrémité de la carène , la force avec laquelle l'eau soutient chaque point de la longueur du Navire , & qui est proportionnelle aux carrés de DC , de IO , de LP , &c. l'est donc aussi aux carrés des distances AD , AI , LB de ces endroits à l'extrémité de la proue ou de la poupe ; & par conséquent ces différentes forces peuvent être exprimées par les ordonnées de deux complémens paraboliques AHE & BKE , compris entre les paraboles AHE , BKE , & la droite ADB , qui est tangente à leur sommet A & B.

Telle est la distribution de la force qui soutient le Navire ; mais malheureusement le poids du Vaisseau n'est pas distribué de la même manière. Son milieu est soutenu avec plus de force , & c'est ce même milieu qui est quelquefois moins pesant , parce que les extrémités sont chargées de gaillards , de dunettes , ou de quelques autres choses équivalentes. Je suppose que la pesanteur du Navire est la même dans toute sa longueur , ou qu'elle est exprimée par les ordonnées du rectangle ABGF , qui doit

être par conséquent de même grandeur que les deux complémens paraboliques joints ensemble ; puisque , comme nous le montrerons , la pesanteur du Navire est exactement égale à la force qui le soutient. Le rectangle n'est égal aux deux complémens , que lorsque sa hauteur DC est le tiers de la plus grande ordonnée DE des espaces paraboliques. Ainsi le triangle mixtiligne HKE exprime combien le Navire est trop poussé en haut par le milieu de sa carène ; & les deux espaces paraboliques AFH & BGK , marquent au contraire combien il s'en faut que les deux extrémités soient assez soutenues. Vers le milieu du Navire , la force ED ou RS , avec laquelle l'eau le pousse en haut en chaque point de sa longueur , est plus grande que la pesanteur DC ou ST avec laquelle il tend à descendre ; & l'excès est exprimé par EC ou RT. Vis-à-vis des points H & K où les paraboles coupent le côté FG du rectangle AG , les forces HI & KL de l'eau , sont précisément égales aux pesanteurs IH & LK , qu'a le Navire dans cet endroit ; & au-delà des points H & K , les pesanteurs du Navire sont plus grandes que les forces verticales de l'eau. Or l'espace parabolique HEK qui est formé de tous les excès CE , RT , qu'a la force de l'eau sur la pesanteur du Navire , exprime donc combien la carène est trop poussée en haut vers le milieu ; & par la même raison les deux segmens AFH & BGK , expriment combien la pesanteur des deux extrémités est plus grande que la force de l'eau qui les pousse en haut : D'où il suit qu'ils expriment la force qui tend à faire arquer le Navire , en faisant tomber la prouë & la poupe.

Puisque HI est le tiers de ED , il faut que AI soit à AD , comme $\sqrt{\frac{1}{3}}$ est à 1 , & soit à AB comme $\sqrt{\frac{1}{3}}$ est à 2 , à cause de la propriété de la parabole ; & le segment AFH qui est les deux tiers du rectangle AFHI , sera par conséquent au rectangle entier ABGF , qui exprime la pesanteur totale du Navire , comme $\frac{1}{3}\sqrt{\frac{1}{3}}$ est à 1. C'est-à-dire donc que la force avec laquelle la prouë ou la poupe tend à tomber , est le $\frac{1}{3}\sqrt{\frac{1}{3}}$ de toute la pesanteur du Vaisseau , ou environ les $\frac{10}{11}$.

Fig. 42.

Une remarque qui se présente, & qui est trop importante pour qu'on l'obmette, c'est que si le Navire, au lieu d'être entièrement chargé, ou lesté, est presque vuide, comme ce sera de son milieu qu'on aura ôté le plus grand poids, ses diverses pesanteurs en chaque point de sa longueur ne seront plus exprimées par des lignes égales, ou par les ordonnées d'un rectangle, mais par celles d'une ligne courbe FTG (Fig. 42.) Alors DT marquera la pesanteur du Navire au milieu, & AF & BG aux deux extrémités, &c. Mais le Vaisseau étant moins pesant, enfoncera moins dans la Mer: il ne se plongera peut-être plus que jusqu'à la droite VZ, & les forces qu'aura l'eau pour le soutenir, seront exprimées par les ordonnées d'une ligne courbe IEL. Or l'étendue, ou l'aire de cette courbe qui est la somme de toutes ses ordonnées, sera bien encore égale à l'étendue AFTGB, qui représente la somme des pesanteurs du Navire: Mais on voit que toutes les pesanteurs & que toutes les forces qui les soutiennent, seront encore distribuées plus différemment, & que l'espace AFHI ou BGKL, qui marque alors combien la prouë ou la poupe tend plus à descendre qu'elle n'est soutenue, deviendra ordinairement plus grand. Ainsi il est à propos que les Navires dans le Port même, ne soient jamais sans quelque charge ou sans quelque lest ~~on~~ on voit également que ce lest doit être principalement appliqué vers le milieu de la cale.

Je reviens donc au cas que nous examinions, & je suppose que le Navire étant entièrement chargé ou lesté, enfonce dans l'eau jusqu'à l'axe AB des deux cônes (Fig. 42.), ce qui est cause que la force avec laquelle la prouë ou la poupe tend à tomber, malgré l'effort contraire de l'eau, est représentée par l'espace parabolique AFH, qui n'est égal qu'aux $\frac{1}{3}$ du rectangle entier AG, qui exprime la pesanteur totale du Navire. Si nous voulons avoir maintenant l'énergie ou le moment de cette force, nous considérerons que plus elle est éloignée du milieu du Navire, plus elle agit, & qu'il faut donc la multiplier par la distan-

ce du centre de gravité M ou N de chaque espace parabolique à la verticale DC : car c'est cette distance qui sert de bras de levier. Le centre de gravité M répond aux $\frac{1}{3}$ de AI; & par conséquent sa distance au milieu du Navire est à AD comme $1 - \frac{1}{3}\sqrt{\frac{1}{3}}$ est à 1, ou en est environ les $\frac{78}{100}$: d'où il suit que le moment de la force avec laquelle la prouë ou la poupe tend à descendre, est égal à $\frac{10}{12}$ de la pesanteur du Navire, multipliée par les $\frac{12}{100}$ de la longueur totale, ou à toute la pesanteur multipliée par $\frac{12}{100}$ de la longueur. Il ne reste plus après cela qu'à attribuer les dimensions qu'on voudra au Navire, pour avoir la quantité effective de la force dont il s'agit. Si le Navire a 100 pieds de long & 30 de large, sa pesanteur sera d'environ 450 tonneaux; & si on la multiplie par les $\frac{12}{100}$ de sa longueur, il viendra environ 3712 pour le moment ou pour la force relative qui tend à faire descendre chaque extrémité du Navire, & à ouvrir par conséquent l'angle ACB.

Fig. 42.

Rien ne doit s'opposer avec plus d'efficacité à cet effet, que les ponts que nous supposons étendus en ligne droite depuis A jusqu'au B. La poupe & la prouë ne peuvent pas tomber sans que le pont ne s'allonge; & pour y mettre obstacle, il n'y a qu'à rendre ses bordages assez forts. Le pont est élevé de 15 pieds au-dessus du point C, qui sert d'hypomoclion, & le moment de sa force, ou le produit de cette force par 15 pieds, doit être égal à 3712, moment de la force contraire. C'est pourquoi je divise ce nombre par 15, & il me vient 247 tonneaux pour la résistance dont doit être capable le pont selon sa longueur. Or cette force n'est que très-peu de chose, en comparaison de celle dont il sera toujours effectivement capable, quand on le voudra. Je ne dis pas les illoires, mais deux de ses bordages doivent fournir autant de force qu'il en faut; puisqu'une planche de chêne qui a un pied de largeur, & un pouce & demi d'épaisseur, a une forme de 144 tonneaux, à proportion d'une poutre grosse d'un pied en quarré, qui ne se doit rompre, comme nous l'avons vû, que par un poids de 1152 tonneaux : Outre cela nous

avons fait toutes les suppositions les moins favorables que nous avons pû. Car quoique nous soyons d'avis qu'on diminuë le renflement de la prouë & de la poupe, nous ne prétendons pas qu'on les rende côniques; ainsi l'une & l'autre sera plus soutenue par l'eau que nous ne l'avons suposé. Il est aussi très-difficile que dans un Navire chargé ou lesté, chaque coupe verticale des extrémités, pese autant que celle du milieu.

Ainsi il n'y a point de doute que si les Vaisseaux s'arquent, ou que si leurs extrémités tombent, c'est parce qu'on n'a pas sçu tirer tout le parti qu'on pouvoit, de la force du pont; & on y a manqué principalement, parce qu'on l'a rendu courbe dans sa longueur, & qu'on a obmis en même tems de le lier assez fortement avec les deux extrémités du Navire, ou avec l'étambot & l'étrave. Comme plusieurs raisons de convenance empêchent de l'étendre jusqu'à cette dernière pièce, il faut au moins le lier avec le bau le plus voisin avec de fortes barres de fer. Il ne faut pas non plus que le pont qui doit être formé par des bordages bien continus, vienne se terminer simplement à l'arrière sur la barre d'arcasse qui soutient son extrémité: il faut qu'il y soit arrêté & fixé avec des bandes de fer clouées sur l'un & sur l'autre, & que cette barre d'arcasse soit assez forte pour ne pas plier, de même que toutes les autres qui sont en dessus & en dessous. Le même motif engage à fortifier la prouë encore plus qu'on ne le fait, par ces pièces de bois courbes & placées horizontalement en dedans, qu'on nomme guirlandes. On peut, pour les mieux maintenir dans le même état, & les empêcher de céder en se courbant davantage, les soutenir par plusieurs faux baux. On doit avoir enfin toujours en vûe dans l'assemblage des parties d'un Navire, de mettre toutes sortes d'obstacles à son rétrécissement & à son ralongement par en haut.

CHAP.

CHAPITRE IV.

De la résistance relative des Corps solides, & de la force qu'il faut donner à diverses parties du Navire.

I.

LORSQU'ON veut comparer la résistance absolue des corps solides à leur résistance relative, c'est-à-dire à la résistance qu'ils font lorsqu'on travaille à les rompre, en les tirant de côté ou perpendiculairement à leur longueur, on trouve dans cette comparaison des difficultés qui ont arrêté jusqu'à présent les plus grands Géomètres. Galilée avoit considéré les fibres des corps comme parfaitement rigides, ou comme incapables d'extension; on a vû depuis, & on doit cette attention à M. Mariote, que les fibres qui étoient obligées de s'allonger davantage, résistoient aussi plus; au lieu que celles qui étoient plus voisines du point sur lequel se faisoit la rupture, & qui n'étoient sujettes à aucun allongement, n'étoient presque point mises en action. A la fin on a reconnu que pendant qu'une partie des fibres s'allongeoient, les autres se comprimoient: & on eût pû ajouter encore une dernière considération, qui a échappé, à ce que je crois, que les fibres changent de direction, & cessent pendant l'effort de la rupture, d'être parallèles les unes aux autres. Si pendant qu'une pièce de bois est engagée dans un mur par une de ses extrémités, on la charge d'un grand poids par l'autre bout; à mesure qu'on rapprochera le poids, on pourra le rendre plus grand, sans craindre que la poutre se rompe. En rapprochant dix fois plus le poids, on pourroit l'augmenter dix fois plus; mais si on l'appliquoit donc tout-à-fait proche du mur, ou qu'on rendît nulle sa distance au point d'appui, on pourroit, ce semble, le rendre infini: ce

X

qui est fort éloigné d'être vrai , à cause de la considération que nous venons de faire , ou parce que les fibres se couchant les unes sur les autres , leur direction se trouve extrêmement rapprochée du point qu'on peut considérer comme hypomoclion pendant la rupture. C'est aussi ce qu'on reconnoît tous les jours par l'expérience , qui montre que la seconde espèce de résistance absolue , dont nous avons parlé dans le premier Chapitre , est très-limitée ; bien loin d'être infinie , comme on l'a supposé jusqu'à présent dans tous les systèmes qu'on a fait sur la résistance des corps solides. Nous croyons qu'on néglige encore outre cela quelques autres attentions qui ne sont pas moins importantes.

Fig. 43. Ce n'est pas ici le lieu d'entrer dans une discussion si difficile : il vaut mieux trouver le moyen de s'en disculper ; & on y réussira aussi-tôt qu'on n'entreprendra point de déduire de la force absolue , la force relative , & qu'on évitera aussi certains cas extrêmes qui ne sont pas ordinaires dans la pratique. Lorsqu'on fait effort pour rompre de côté une pièce de bois (Fig. 43.) , en la tirant selon une direction AG , elle résiste à proportion de la grosseur ou de la multitude des fibres qui sont renfermées dans chaque coupe perpendiculaire CD. Mais outre cela ces fibres résistent encore plus ou moins , selon qu'elles sont plus ou moins éloignées du point C , qui sert d'hypomoclion , & sur lequel doit se faire la rupture : car elles sont appliquées comme à un bras de levier plus long. Le levier entier est angulaire , c'est ACD ; la puissance qui l'exerce selon la direction AG , est appliquée au bras CA , en même tems que les fibres qui résistent , sont appliquées à diverses distances de l'hypomoclion C , le long de l'autre bras CD. Il seroit difficile de déterminer le centre précis dans lequel il faudroit considérer toutes ces fibres , pour avoir leur effort moyen ; mais tant qu'on ne comparera les uns aux autres que des corps , dont les coupes sont des figures semblables , il n'y aura qu'à prendre le centre de gravité de ces coupes pour centre d'effort , & il s'en-

suivra que les résistances relatives des corps solides de différentes grosseurs, seront comme les cubes des dimensions simples de ces grosseurs. Il n'importe aussi que ce ne soit par le point d'en bas de la pièce qui serve d'hypomochlion, mais que ce soit le centre de toute la partie inférieure comprimée, puisque ce centre doit se trouver toujours à peu près placé proportionnellement au même endroit. Si une poutre est donc trois fois plus grosse qu'une autre, c'est-à-dire qu'elle ait trois fois plus de largeur & trois fois plus d'épaisseur, elle rejettera 27 fois davantage, ou soutiendra un poids 27 fois plus grand, appliqué à la même distance. La seule grosseur de la poutre fait qu'elle a 9 fois plus de fibres qui résistent dans chaque coupe CD; mais outre cela ces fibres sont situées trois fois plus avantageusement: car la poutre étant trois fois plus épaisse, les fibres sont appliquées à trois fois plus de distance du point C, ou de tout autre point. Une partie de ces fibres sont plus éloignées, & les autres plus voisines; mais toutes considérées comme réunies dans un certain centre, afin de faire une compensation, sont trois fois plus éloignées du point d'appui dans la grosse poutre que dans l'autre. En un mot, indépendamment de la force qui naît de la plus grande multitude des fibres, la grosseur contribue encore à la force; & c'est par cette raison qu'une pièce de bois qui ne résiste pas plus qu'une barre de fer, lorsqu'on la tire dans le sens de sa longueur, résiste cependant beaucoup davantage lorsqu'on la tire de côté, ou qu'on fait effort pour la plier.

Quoiqu'il en soit, il suffit de faire des expériences sur des corps de peu de grosseur, pour pouvoir juger à peu près de la force des corps les plus gros de même matière, pourvu que les coupes des uns & des autres faites perpendiculairement à leur longueur, soient des figures semblables. C'est-à-dire qu'on ne peut pas juger dans la rigueur, de la force d'une poutre quarrée, par l'examen qu'on fera de la force d'un bâton parfaitement rond; quoiqu'on soit attentif, comme nous l'avons déjà recommandé, de choisir ce

bâton vers le milieu du rayon de l'arbre , ou à peu près à égale distance du centre & de la circonference. Cependant , comme il n'est question le plus souvent dans l'usage ordinaire , que de sçavoir si on peut compter assez sur la force d'un corps , sans qu'il soit nécessaire de sçavoir la quantité précise de cette force , on peut presque toujours prendre pour règle , que la résistance relative des corps de même matiere , est proportionnelle au produit de l'étendue des coupes faites perpendiculairement à la longueur , multipliée par la distance du centre de gravité des mêmes coupes au point sur lequel se fait la rupture. Il suit de-là qu'une poutre horizontale placée de champ , & chargée d'un fardeau , doit résister davantage , que située de plat. Si la poutre a trois fois plus d'épaisseur ou de hauteur que de largeur , elle résistera environ trois fois plus dans la premiere situation. La difference , comme il est évident , ne vient que de ce que le total des fibres dans le premier cas , est trois fois plus éloigné du point qui sert d'appui.

Pour éclaircir ce qu'on vient de dire par un exemple ; nous prendrons pour principe d'expérience , qu'une règle de chêne de l'espece qu'on nomme verd , qui a le plus de force , d'un pouce en quarré de grosseur , & placée horizontalement , peut soutenir à un pied de distance , un effort un peu moindre que 130 livres. C'est ce que nous supposons qu'on a vérifié , & nous cherchons combien doit soutenir à proportion une poutre scellée dans un mur par une de ses extrémités , & qui a 14 pouces d'épaisseur sur 10 de largeur. Les forces relatives étant proportionnelles à l'étendue des coupes multipliées par la hauteur de leur centre de gravité au-dessus du point sur lequel se fait la rupture ; nous aurons $1 \times 1 \times \frac{1}{2}$ pour *l'exposant* de la force relative de la règle , puisque 1×1 exprime l'étendue de la coupe , & que son centre de gravité étant au milieu de l'épaisseur , est à $\frac{1}{2}$ pouce au-dessus de la base. D'un autre côté , & par la même raison , $10 \times 14 \times 7$ est *l'exposant* de la force relative de la poutre. Ainsi nous aurons cette analogie $1 \times 1 \times \frac{1}{2} = \frac{1}{2} : 130 \text{ livres} :: 10 \times 14 \times 7 = 980 : 254800 \text{ livres} ; \&$

ce quatrième terme 254800 livres indiquera la puissance qui étant appliquée à 1 pied de distance, peut encore être soutenue par la poutre proposée. Il est évident qu'il faudra diminuer cette puissance à mesure qu'on l'appliquera à une plus grande distance du point d'appui : supposé qu'on l'éloignât de 30 pieds, il faudroit la rendre 30 fois moindre ; ce seroit assez qu'elle fût de 8493 livres. Nous suivons dans cette diminution la règle générale, qui est fondée sur les principes les plus certains de la Mécanique : mais le Physique qui s'y mêle souvent, est quelquefois cause que cette dernière règle souffre ici quelque exception, comme je le dirai dans le Chapitre suivant.

II.

On pourra estimer aussi à peu près par le même moyen, la force d'un assemblage de charpente ; nous avons le soin de dire qu'on l'estimera à peu près ; & on doit même étendre beaucoup le sens de cette restriction nécessaire. Car on court risque lorsqu'on examine un assemblage de charpente de tomber dans un inconvénient encore plus grand, que si l'on comparoit la force de deux pièces de bois qui eussent différentes figures. Proposons-nous *les bittes* qui sont formées de deux poutres verticales AB, CE (Fig. 44) & d'une troisième qui est horizontale. La première résistera d'autant plus à un effort fait de côté, & horizontalement de droit à gauche, que l'intervalle EF sera plus grand, parce que ses fibres qu'on peut considérer comme réunies en F, seront situées plus avantageusement par rapport au point d'appui H. Ainsi la force des bittes dans le sens spécifié, est proportionnelle à la somme des deux produits de l'étendue de la coupe BD par la distance FH, & de l'étendue de la coupe HG par la distance HE. Si chacune des poutres verticales est de chêne d'un pied carré de grosseur, elle pourra soutenir à un pied de distance, un peu moins de 224640 livres ; de sorte qu'il semble que les deux poutres ne devroient résister qu'à un effort de 449280 livres. Mais si l'intervalle qu'on met entr'elles,

Fig. 44.

Fig. 44. rend la distance FH de quatre pieds, la première qui ne pouvoit soutenir en particulier que 224640 livres, en soutiendra huit fois davantage, parce que toutes les fibres dont le centre de réunion est en F, seront aidées par un bras de levier FH huit fois plus long. Ainsi les deux poutres soutiendront ensemble un effort horizontal de 2021760 livres qui s'exerceroit sur une direction élevée d'un pied au-dessus du point B.

Lorsque deux poutres AD & CH sont à quelque distance l'une de l'autre, & cependant fortement liées ensemble, l'une des deux ne s'oppose nullement par sa force à la rupture, elle ne fait que servir d'appuy; c'est à quoi il faudroit faire attention, si l'on entreprenoit de rendre le calcul précédent tout-à-fait exact. La poutre CH ne peut pas s'opposer à la rupture par la force de ses fibres, parce qu'elle se trouve comprimée dans toute l'étendue de sa coupe HG, & qu'avant que ses fibres qui sont vers G, puissent commencer à s'étendre & à agir, il faudroit presque toujours que l'autre poutre AD fût déjà rompue. Mais en récompense, cette autre poutre est capable d'une plus grande résistance: car nulle de ses fibres vers D, n'est occupée à soutenir l'effort de la compression; toutes sont en action; & celles qui sont vers D, presque aussi tendues que celles qui sont vers B, agissent aussi presque autant: De sorte que cette seconde poutre résiste non-seulement davantage, parce qu'elle est plus éloignée de l'autre, mais encore parce que toutes ses fibres font un effort plus égal, & qui a plus de conformité à l'effort absolu, ou à cet effort que fait une pièce de bois, lorsqu'on la tire exactement selon sa longueur.

C'est par le concours de toutes ces raisons que les tuyaux de quelque matière un peu forte, résistent si puissamment aux efforts qu'on fait pour les rompre de côté; & c'est ce qui se rapporte à ce que nous avons dit plus haut de l'effort que produit la grosseur seule. Si toute la matière qui forme un tuyau, étoit rassemblée ou resserrée dans un seul corps, & que le vuide du milieu fût supprimé, elle ne résisteroit presque point, parce que toutes les fibres

seroient trop voisines du point qui sert d'hypomoclion, pendant la rupture. Mais qu'on étende la même quantité de matière, qu'on la dilate en forme de tuyau, il n'y aura toujours que le même nombre de parties qui résisteront ; mais elles le feront davantage, à mesure que le rayon du tuyau sera plus grand. Si nos lumieres sont si foibles que les traits de la Sagesse infinie qui a tout fait, nous échappent presque sans cesse, nous sommes au moins à portée de reconnoître celui-ci, par lequel diverses plantes, les plumes des oiseaux, la plupart des os des animaux, ont reçu une force suffisante ; & cela, pour ainsi dire, avec le moins de frais qu'il s'est pû, en épargnant avec art la matière, afin de diminuer le poids.

III.

Il faut aussi souvent, pour juger de la bonté d'un assemblage de charpente, faire attention à cette seconde espèce de force absolue, dont nous avons déjà parlé, laquelle peut devenir relative selon les circonstances. Supposons, pour en donner un exemple, que ne trouvant pas de bois propre à faire *une courbe*, ABC (Fig. 45.) dont on a expliqué l'usage dans le Chapitre II. de la première Section, ou la forme de deux parties ABD & CDEF, & qu'on les cheville fortement ensemble. Lorsque la courbe est d'une seule pièce, il faut qu'elle se rompe dans sa plus grande épaisseur BF, pour que l'angle que forment les deux jambes se ferme ou s'ouvre : mais la courbe étant composée de deux pièces, il n'y a que les seules chevilles qui s'opposent à la rupture, & il suffit qu'elles cassent, pour que tout l'assemblage manque. Il est vrai qu'elles feront une résistance relative plus ou moins grande, selon qu'elles seront plus ou moins éloignées du point F, qui sert d'hypomoclion. Mais cette résistance, comme il est évident, ne doit jamais être comparable à celle que feroient toutes les fibres contenuës dans la coupe faite selon BE, qui résisteroient aussi à proportion de leur distance au point F. D'un autre côté si on mettoit des chevilles de fer, elles ne se rompe-

Fig. 45.

Fig. 45. roient peut-être pas ; mais comme tout l'effort qu'elles soutiendroient , retomberoit sur les seules parties de bois qui sont en arriere , & non pas sur toute la pièce ; ces parties se détacheroient d'autant plus aisément , qu'elles le pourroient faire en se rompant , selon même le fil du bois , ou selon la longueur des fibres. Il suit de-là qu'il est très-difficile de rendre suffisamment solide une courbe formée de deux pièces. On peut y réussir en la chargeant de bandes de fer par dehors l'angle & par dedans ; & en liant outre cela ces bandes l'une à l'autre par d'autres barres ; si ce n'est qu'il vaudroit sans doute beaucoup mieux la faire alors entierement de fer.

La remarque que nous faisons sur l'inconvénient qui se trouve dans l'usage des chevilles ou des cloux , doit avoir lieu dans plusieurs autres rencontres , & principalement lorsqu'il s'agit d'arrêter les bordages. Comme ils ne sont jamais assez longs pour aller d'une extrémité du Navire à l'autre , on se contente de clouer les deux extrémités des deux bordages sur le même bois. Mais au lieu que dans un bordage continu , c'est la totalité de ses fibres qui forme la force ou la résistance , ce n'est que la petite partie de bois qui est derriere le clou , qui soutient tout l'effort dans les bordages mis les uns au bout des autres.

IV.

On peut souvent s'épargner la peine d'examiner en détail la force particuliere des parties du Navire , en se contentant de chercher la loi que doivent suivre leurs grosseurs dans differens Vaisseaux. Il n'y a pour cela qu'à supposer que le nombre des pièces est toujours le même ; mais qu'on les a rendu plus larges à proportion que le Navire est plus long ; & il ne s'agira plus que de déterminer leur épaisseur. Proposons-nous la quille , & supposons donc que sa largeur est proportionnelle à sa longueur. Dans les Navires semblables , les solidités où les pesanteurs sont comme les cubes des longueurs ; & outre cela cette pesanteur , selon que le Navire est plus grand , agit encore
davantage,

davantage, soit dans les abordages, soit lorsque le Navire *Fig. 45.*
touche, parce qu'elle est aidée par un bras de levier plus
 long. Ainsi les forces relatives qu'a le Navire pour se
 briser dans un certain point, sont comme les quarrés
 quarrés de sa longueur. D'un autre côté la quille est plus
 large dans le même raport que la longueur; & sa force
 relative dépend deux fois de sa hauteur, puisque la coupe
 ou la tranche qui représente la multitude des fibres est plus
 grande, selon qu'on augmente cette hauteur, & qu'en
 même tems les fibres sont appliquées à un bras de le-
 vier plus long. C'est-à-dire que les résistances relatives de
 la quille, sont comme ses largeurs multipliées par les quar-
 rés de ses épaisseurs, ou ce qui revient au même, à cause
 de la supposition que nous avons faite touchant la largeur,
 les résistances relatives de la quille sont comme les lon-
 gueurs du Navire, multipliées par les quarrés des épais-
 seurs de cette pièce de bois. Mais ces résistances doivent
 être égales ou proportionnelles aux efforts relatifs que
 fait le Vaisseau pour se briser, efforts qui sont exprimés
 par les quarrés quarrés de ses longueurs, il s'ensuit donc
 (en divisant de part & d'autre par la longueur) que les
 quarrés des épaisseurs de la quille doivent être comme les
 cubes des longueurs du Navire. Supposé que le Vaisseau
 soit 4 fois plus long, sa pesanteur seroit 64 fois plus gran-
 de, & sa force relative ou son énergie pour se bri-
 ser, augmenteroit encore 4 fois, & seroit exprimée
 par 256. Mais la quille étant plus large dans le même ra-
 port que le Navire est plus long, & le quarré de son épais-
 seur étant comme le cube de la même longueur, sa force
 relative sera aussi 256 fois plus grande. Car la quille sera
 4 fois plus large & 8 fois plus épaisse; ce qui fait augmen-
 ter sa résistance relative précisément dans ce raport.

Ce sera la même chose pour tous les membres : les
 quarrés de leurs épaisseurs doivent être comme les cubes
 des longueurs des Navires. Cependant cette règle n'a lieu
 que pour prévenir la rupture, ou plutôt l'enfoncement qui
 se peut faire dans l'endroit même qui reçoit l'abordage, ou

Y

Fig. 45.

qui est exposé immédiatement à un certain effort. Car si on cherche l'épaisseur qu'il faut donner, par exemple, aux bordages, pour qu'ils puissent maintenir le Vaisseau dans le même état, ou l'empêcher de se rompre vers le milieu, lorsqu'il touche sur un terrain inégal, & qu'il ne porte que par les deux extrémités, on trouvera que les épaisseurs ne doivent pas suivre la loi que nous venons de dire; mais qu'elles doivent être encore plus grandes à proportion dans les plus grands Navires. L'effort relatif que produit la pesanteur du Vaisseau, pour causer la rupture, est toujours comme le quarré quarré de sa longueur; & les bordages résistent d'autant plus à cet effort, qu'il y en a un plus grand nombre, ou qu'ils forment ensemble une largeur plus grande sur la superficie de la carène. Leur résistance relative augmente encore par un autre endroit: si on prend leur distance moyenne au point sur lequel se peut faire la rupture, il se trouvera toujours qu'ils sont situés plus avantageusement, ou appliqués à un bras de levier plus long, lorsque le Navire est plus grand. Ainsi leur résistance relative augmente comme le quarré de la longueur seulement, parce que le Navire est plus grand: mais cet accroissement ne suffisant pas, puisqu'il faudroit qu'il se fît selon le quarré quarré, pour entretenir l'équilibre avec l'effort contraire, il est nécessaire d'y suppléer par la plus grande épaisseur qu'on donnera aux bordages; & il faut par conséquent la rendre proportionnelle au quarré de la longueur. Si le Vaisseau est deux fois plus long, deux fois plus large, deux fois plus profond, il faut donc que les bordages, tant ceux que revêtissent la carène, que ceux qui couvrent les ponts, soient quatre fois plus épais; & si un Navire avoit toutes ses dimensions simples quatre fois plus grandes, il faudroit que les bordages eussent 16 fois plus d'épaisseur. C'est ce qu'on a été fort éloigné d'observer jusqu'à présent dans la Marine.

Comme on ne sçait pas à quelle espèce d'accident le Navire sera exposé, il est toujours de la prudence de donner à ses parties la plus grande épaisseur que prescrit l'une

ou l'autre règle. Dans les Vaisseaux du troisième rang, la quille a vers le milieu 19 ou 20 pouces de largeur & autant d'épaisseur, & quelques pouces de moins vers les deux extrémités; les varangues ont souvent un pied en quarré de grosseur; les baux du premier pont qu'on met ordinairement à trois pieds de distance l'un de l'autre, ont 16 pouces en quarré, & les bordages ont 4 pouces d'épaisseur. On peut sur cela se régler pour les autres Vaisseaux; & supposé qu'on ne trouvât pas d'assez gros arbres pour former les pièces, il n'y auroit qu'à en mettre un plus grand nombre.

CHAPITRE V.

De la figure & de la grosseur que doivent avoir les mâts & les vergues.

I.

A USSI-TÔT qu'on sçait que dans les corps dont les tranches sont des figures semblables, les résistances relatives sont comme les cubes des diamètres des grosseurs, ainsi qu'on l'a vû vers le commencement du Chapitre précédent, on est en état de déterminer la figure des solides *d'égale résistance*, ou qui résistent également à la rupture dans tous les points de leur longueur. Une puissance est appliquée au sommet A (Fig. 43.) d'un corps AB, & agit dessus selon une direction AG perpendiculaire à l'axe de ce solide, dont toutes les tranches sont des quarrés ou des cercles; cette puissance tendra à rompre le corps avec plus ou moins de force relative ou de moment, selon qu'elle sera plus ou moins éloignée de chaque endroit où se peut faire la rupture. Proche du sommet l'effort relatif de la puissance sera foible; mais à une plus grande distance il sera plus grand, & il sera toujours proportionel à la

Fig. 43.

Y ij

Fig. 43.

longueur des parties AC de l'axe qui servent de levier à la puissance. Or les résistances relatives du solide, qui sont comme les cubes de ses diamètres, doivent être égales à ces efforts relatifs de la puissance, puisqu'on veut qu'il y ait un continuel équilibre. Ainsi les cubes des diamètres des grosseurs doivent être comme les longueurs des parties de l'axe, & par conséquent le solide qui résiste par tout également, doit être un conoïde formé par la première parabole cubique. A huit fois plus de distance du sommet, la puissance fait huit fois plus d'effort pour rompre le solide; mais dans cet endroit la grosseur aura un diamètre double, ce qui fera que le solide pourra résister huit fois plus. A 27 fois plus de distance du sommet, le solide aura un effort 27 fois plus grand à soutenir de la part de la puissance; mais il sera encore capable de le soutenir, puisqu'en cet endroit son diamètre sera trois fois plus grand; ce qui lui donnera 27 fois plus de force.

Il n'est pas nécessaire d'avertir que c'est cette figure que devroient avoir les mâts, pour n'être pas plus sujets à se rompre dans un point que dans un autre: Il est sans doute plus à propos d'insister un peu sur la manière de tracer la parabole cubique dans l'usage ordinaire. Si on divise toute la longueur du mât en 64 parties égales, & son diamètre par le pied en 4 parties aussi égales entr'elles, il n'y aura qu'à donner au mât 3 de ces dernières parties de diamètre vis-à-vis du point où finissent 27 parties de la longueur, à commencer du sommet. On donnera 2 parties de diamètre vis-à-vis de la fin de 8 parties de la longueur, & une partie de diamètre à la fin de la première de la longueur. Pour obtenir un plus grand nombre de points, il n'y a qu'à vis-à-vis de 60 parties, de 55, de 50, de 45, de 40, de 35, de 30, de 25, de 20, de 15, de 10, & de 5 de la longueur, donner de diamètre au mât $3\frac{21}{100}$; $3\frac{80}{100}$; $3\frac{68}{100}$; $3\frac{56}{100}$; $3\frac{43}{100}$; $3\frac{37}{100}$; $3\frac{11}{100}$; $2\frac{93}{100}$; $2\frac{71}{100}$; $2\frac{47}{100}$; $2\frac{15}{100}$ & $1\frac{71}{100}$ des mêmes parties, dont le diamètre du pied en contient quatre.

A l'égard des vergues, elles ne doivent pas avoir la

même figure ; elles doivent se terminer en pointe par les deux extrémités , & chaque moitié doit être formée par la révolution d'une seconde parabole cubique. La raison de cette différence est facile à voir : la puissance qui tend à rompre les vergues , est non-seulement appliquée à moins de distance vers les extrémités ; mais elle est aussi plus petite , parce que l'effort de la voile étant distribué tout le long de la vergue , il n'y en a qu'une partie qui tend à la rompre en chaque point. Tout l'effort que le mât doit soutenir , est appliqué à son sommet ; ainsi c'est toujours la même force absolue qui travaille à le rompre ; au lieu que par rapport à la vergue , l'effort absolu se trouve plus grand à mesure qu'on considère des points plus vers le milieu. Dans ce dernier point la vergue a de toutes manières le plus grand effort à soutenir ; cet effort est non-seulement le plus grand , il est appliqué à la plus grande distance : mais si on examine la vergue en un point qui soit au quart de sa longueur , on verra que la partie de la voile qui travaille à la rompre , sera deux fois plus petite , & que son centre d'effort sera appliqué outre cela à deux fois moins de distance. En un mot , les forces relatives qui tendent à rompre la vergue , sont comme le carré des distances à son extrémité voisine ; & puisque les résistances doivent faire équilibre avec ces forces , il faut que les cubes des diamètres des grosseurs soient comme les carrés des distances à l'extrémité de la vergue. Il suit de-là que si on divise la moitié de la longueur en 64 parties égales , & le diamètre de la grosseur au milieu en 16 , il faudra lui donner 9 de ces dernières parties à la fin de 27 parties de longueur comptées depuis l'extrémité ; 4 parties de diamètre vis-à-vis de 8 de longueur , & une partie à la fin d'une.

I I.

Les deux figures que nous venons d'indiquer , sont vraisemblablement celles qu'il faut donner dans les plus grands Vaisseaux aux mâts & aux vergues. Comme il n'est pas pos-

Y iij

sible de trouver d'arbres assez hauts & assez gros, on forme le milieu du mât par une longue pièce qu'on nomme *mèche*, & on la revêt de quatre ou cinq autres qu'on applique dessus, & qu'on serre avec de gros cercles de fer, mis de distance en distance. On trouve des arbres assez gros pour servir de mâts aux moindres Navires : les mâts formés d'une seule pièce, sont beaucoup plus forts ; il n'est pas nécessaire de les rendre si gros à proportion, & il s'en faut même beaucoup. Mais il faut aussi, à ce que je crois, leur donner une autre figure, parce que la résistance qu'ils font, est à peu près la même que si l'action de la puissance qui tend à les faire rompre, croissoit en plus grande raison que la longueur du levier auquel elle est appliquée. Comparons, pour nous mieux expliquer, deux pièces de bois scellées dans un mur par une de leurs extrémités, & chargées par l'autre d'un grand poids qui les fasse rompre ; & supposons que ces deux pièces soient exactement de la même grosseur, mais que l'une soit deux fois plus longue que l'autre. Il est évident qu'à l'égard de la seconde, le levier étant deux fois plus long, il ne faudra mettre à son extrémité qu'un poids qui sera la moitié du premier. C'est ce qui est vrai, supposé qu'on fasse abstraction de la pesanteur des deux pièces. Car cette pesanteur est non-seulement deux fois plus grande dans le second cas, elle est encore appliquée à un levier deux fois plus long. Ainsi elle a beaucoup plus de part à la rupture, elle y contribue quatre fois plus ; & par cette raison le poids qu'on met à l'extrémité de la pièce, doit être beaucoup plus petit que la moitié.

Mais supposons que les pièces soient sans pesanteur, ou ce qui vaut mieux, joignons leur pesanteur à l'effort de la puissance qui est appliquée à l'extrémité, & considérons le tout comme un seul poids. Lorsque la pièce sera deux fois plus longue, il faudra d'abord diminuer le poids de moitié, conformément au grand principe de Mécanique. Mais ce poids étant moindre, les fibres dans le point de la rupture, seront moins tirées verticalement de haut en bas,

elles seront moins obligées de se coucher les unes sur les autres; l'effort absolu qu'aura l'hypomoclion à soutenir, fera moins grand, & les fibres tendues seulement dans le sens horifontal par l'effet du levier angulaire, seront plus capables de résister; ce qui prouve qu'elles pourroient soutenir un poids qui seroit un peu plus grand que la moitié, si ce n'est qu'il y a encore une ou deux considérations à ajouter. C'est que la pièce de bois dans toute la partie qui la rend plus longue, n'est pas exempte de se courber: cette nouvelle flexion allonge nécessairement les fibres, & cet allongement ne laisse pas de contribuer à les roidir dans l'endroit même de la rupture, ce qui fait que la pièce de bois y est plus exposée à se rompre. Outre cela, comme le poids est fort éloigné, il se trouve un grand espace où la pièce a sensiblement le même effort à soutenir: ce n'est pas seulement un espace de 2 ou trois pieds, mais c'en est un peut-être de 10 ou 15: au lieu que lorsque la pièce est moins longue, ou que le poids est appliqué à très-peu de distance, l'effort n'est grand que dans un seul point, & il diminue subitement à cause du voisinage de la puissance. Cette difference d'action est si grande, que lorsque les pièces de bois sont très-courtes, leur rupture est ordinairement beaucoup plus nette, & la section se fait presque perpendiculairement à la longueur: au lieu que lorsque la pièce est très-longue, la rupture se fait presque toujours très-obliquement, en commençant très-loin en dessus, & en se terminant en dessous vers le point d'appui.

Il y a de cette sorte bien à distinguer entre les differens cas. Si une pièce de bois est prolongée par une barre de fer, ou même par une autre pièce de bois simplement entée à la première, & qu'on applique un grand poids à l'extrémité, on peut alors avec beaucoup plus de fondement, ne considérer que la seule longueur du levier. Mais si c'est une seule pièce de bois beaucoup plus longue, il faut non-seulement avoir égard au plus long bras de levier, mais encore faire attention, comme nous l'avons dit, à la flexion que souffre cette plus longue pièce dans son excès.

Fig. 43. de longueur; flexion qui occasionnant un plus grand allongement de fibres dans tous les points, accélère infailliblement la rupture. Il faut considérer encore que quoique dans la rigueur l'effort ne soit le plus grand que dans un seul endroit, il est sensiblement le même dans un assez grand espace lorsque la pièce est plus longue, ce qui fait qu'elle se trouve comme surchargée, & qu'elle travaille davantage. Il est vrai que cette seconde considération a toujours lieu, & que s'il est permis de la négliger, c'est en supposant qu'elle est peu de conséquence par rapport à la première.

Tout ceci demanderoit à être discuté par de nouvelles expériences, qu'il faudroit faire avec d'autant plus d'art, qu'il s'agit de séparer les différens cas les uns des autres, & de démêler les effets partiels qu'on doit attribuer à chaque cause. Il faudroit aussi faire des épreuves sur les différentes matières; car sans doute que le verre & les métaux ne sont pas sujets à la même loi lorsqu'ils se rompent. Nous pouvons, je crois, en attendant, supposer à l'égard du bois, que l'énergie ou le moment de l'effort qui travaille à le rompre, dépend de la longueur du bras de levier élevée à une certaine puissance imparfaite, comme à celle dont $\frac{4}{3}$ ou $\frac{4}{5}$ est l'exposant. Il me paroît que jusqu'à ce que nous acquierions de nouvelles lumières, on peut employer avec succès la dernière de ces puissances; car on viendra à bout par son moyen de représenter assez exactement les résultats des expériences de M. de Buffon, lesquelles méritent d'autant plus de servir de règle, qu'elles ont été faites avec soin, & qu'elles ont l'avantage d'avoir été exécutées en grand. Ainsi supposé qu'une pièce de bois ait soutenu à son extrémité un poids de 20000 livres, une autre de la même grosseur, mais qui sera 4 fois plus longue, ne sera pas capable de soutenir 5000 livres: le poids doit être diminué dans le rapport de $4^{\frac{4}{5}}$ à $1^{\frac{4}{5}}$; de sorte que la seconde pièce ne soutiendra gueres que 3550 livres.

Il suit clairement de-là qu'on doit donner une autre figure

guré aux mâts qui ne sont formés que d'un *seul brin*. Nom- Fig. 43
mant x les longueurs de leurs différentes parties, à com-
mencer à leur sommet, & y le diamètre de leur grosseur,
on aura $x^{\frac{1}{4}}$ pour les divers efforts relatifs que chaque point
doit soutenir, & comme y^3 représentera toujours la ré-
sistance en chaque endroit, on aura $x^{\frac{1}{4}} = y^3$ & $x^5 = y^{12}$:
ce qui nous apprend que la figure que doit avoir le mât,
diffère alors beaucoup moins du conoïde formé par la pa-
rabole ordinaire. On peut suivre de plus près l'explication
physique, & venir au même résultat. L'effort que fait la
puissance pour rompre le solide, est proportionel à la lon-
gueur x du bras de levier; mais la résistance du mât n'est
pas y^3 , parce qu'elle est d'autant moindre que le solide
est plus long. Cette résistance n'est pas précisément moin-
dre dans le même rapport, que x est plus grande; mais elle
est à peu près $\frac{y^3}{x^{\frac{1}{4}}}$ pour le bois. Elle sera sans doute diffé-
rente dans toutes les autres matières; & il y a bien lieu de
croire que le numérateur y^3 de l'expression doit aussi un
peu changer; ou qu'au moins la puissance imparfaite à
laquelle on doit élever x , dépend un peu de la grandeur
du diamètre y du solide. Enfin on a $\frac{y^3}{x^{\frac{1}{4}}} = x$, & le reste
comme ci-dessus.

Quant aux vergues, elles doivent toujours être plus ai-
guës par leurs deux extrémités. L'effort absolu qui travaille
à les rompre, est désigné par x , qui marque la largeur
des différentes parties de la voile, à commencer depuis
l'extrémité voisine. Cet effort est outre cela appliqué à un
levier dont la longueur est proportionnelle à x . Ainsi on a x^2
pour l'énergie ou pour la force relative qui doit être éga-
le à la résistance $\frac{y^3}{x^{\frac{1}{4}}}$. On a donc $\frac{y^3}{x^{\frac{1}{4}}} = x^2$ ou $y^4 = x^3$ pour
les vergues; ce qui rend leur forme encore plus conique.

III.

On n'a pas dans la Marine donné aux mâts & aux ver-
Z

gues les figures qu'on vient d'indiquer : on ne s'y est pas moins trompé sur la figure que sur la hauteur de la mâture, quoiqu'on ait senti quelque chose de la diversité de forme que doivent avoir les mâts & les vergues; mais les Constructeurs ont néanmoins rencontré aussi parfaitement qu'il étoit possible, les grosseurs qu'il falloit leur donner par rapport aux autres dimensions. Lorsqu'ils ont éprouvé que certains mâts étoient plus sujets à se rompre que d'autres, ils les ont rendus plus gros; & à force de tentatives, ils les ont mis à peu près dans le même état à cet égard, que si la Géométrie aidée de l'expérience, s'en étoit mêlée.

Nous ne nous arrêterons pas, afin d'être plus courts, à prouver ce que nous avançons ici en faveur de cette partie des règles vulgaires; le Lecteur, s'il le juge à propos, pourra s'en convaincre aisément, en suivant à peu près le même chemin qui va nous conduire à la détermination des grosseurs qu'il faudra donner à la mâture, aussi-tôt qu'on la reformera sur les vûes que nous avons commencé d'exposer dans la section précédente, & que nous tâcherons dans la suite de porter à une plus grande perfection. Proposons-nous un Vaisseau du premier rang, & supprimons les voiles de perroquet, en nous contentant de la basse voile, & de celle de hunier qui est au-dessus, lesquelles forment ensemble un exagone irrégulier, comme le représente la figure 46. Les deux voiles qui seront égales, mais dans une situation contraire, auront chacune en particulier environ 48 pieds de hauteur ou de chute; leur plus grande largeur CD sera de 120 pieds, & leur moindre de 96. Ces dimensions donnent à chaque voile 5184 pieds quarrés de surface; & si nous supposons que le vent est assez violent pour faire un effort de 5 livres sur chaque pied quarré de surface, l'impulsion entière que recevra la voile de hunier ABDC, sera de 25920 livres. Mais cet effort entier ne travaille pas à rompre le mât de hune GI; il se distribue en haut & en bas; & il n'y a que la partie qui agit en haut, qui puisse avoir part à la rupture dont il est question, puisque l'autre par

Fig. 46.

tie s'exerce sur la vergue CD, & ne peut se transmettre qu'au mât qui est plus bas. Pour faire le partage de l'effort total, il n'y a qu'à le diviser en raison réciproque des deux distances du centre de gravité K au haut & au bas de la surface ABDC. L'erreur qu'on commettra à cause de la courbure de la voile qu'on néglige, sera toujours comme insensible; notre attention à éviter les discussions trop délicates de Géométrie, lorsqu'elles ne sont pas absolument nécessaires, nous fera passer encore sur quelques autres considérations, parce qu'elles ne tirent pas à conséquence. Le centre de gravité ou d'effort K de la voile, est environ 23 pieds au-dessus du point I, & 25 au-dessous du point G; & on trouve par le partage que nous venons d'indiquer, que la partie de l'effort qui s'exerce dans le dernier point G, est de 12420 livres. Or le mât de hune GI n'est chargé d'aucun autre effort que de celui-ci qui agit en G perpendiculairement à sa longueur.

Fig. 46.

Le conoïde qui forme le mât, doit donc avoir son sommet en G, & il n'est plus question que de déterminer la grosseur qu'il faut lui donner, pour qu'il puisse résister à un effort de 12420 livres appliqué à un bras de levier GI, long de 48 pieds. Le mât qui est en état de soutenir cet effort, doit être capable d'en soutenir un 48 fois plus grand qui seroit appliqué à 1 pied de distance. C'est-à-dire que le mât doit avoir assez de grosseur par le bas pour soutenir un effort de 596160 livres, qui ne seroit éloigné que d'un pied. On fait ordinairement toute la mâture de sapin, à cause de la légèreté & de la flexibilité de ce bois, ce qui le rend très propres à résister à un effort latéral; & on peut prendre pour principe qu'un bâton cylindrique de sapin d'un pouce de diamètre, ne se rompt que par un poids de 122 livres appliqué à un pied de distance. J'ai trouvé de ce bois qui se rompoit par un poids qui étoit seulement de 98 livres; ainsi il ne faut pas se fier à une seule expérience: mais si nous nous arrêtons au poids de 122 livres, nous concluons que le mât doit être environ 4886 fois plus fort que les bâtons qui ont servi à nos

Z ij

Fig. 46. épreuves : & puisque les forces relatives sont comme les cubes des diamètres, il n'y a qu'à extraire la racine cubique de 4886 pour sçavoir combien le mât doit avoir de pouces de diamètre, ou doit être plus gros que le bâton. En faisant l'opération, on trouve environ 17; ce qui montre qu'il suffit de donner au mât de hune un peu plus de 17 pouces de diamètre par son pied, pour qu'il soutienne l'effort d'un vent assez impetueux, pour faire une impression de 5 livres sur chaque pied quarré de surface. Il est vrai qu'il faut rendre ce mât beaucoup plus gros, supposé qu'on doive avoir égard aux considérations physiques sur lesquelles nous avons insisté dans l'article précédent. Pour que le mât puisse soutenir à 48 pieds de distance un effort de 12420 livres, il faut qu'il puisse en soutenir un d'environ 15669000 à 1 pied, ou qu'il soit environ 12860 fois plus fort que le bâton d'expérience; & il ne peut résister à un si grand effort que lorsqu'il a un diamètre d'environ 23 pouces, comme on le voit en extrayant la racine cubique de 12860.

Si du mât de hune nous descendons au grand mât, nous verrons qu'il doit soutenir tout l'effort que fait le vent sur le hunier, & de plus la partie de l'effort de la voile basse qui tombe sur le point I. L'autre partie de l'effort de cette dernière voile n'est pas perdue, elle contribue, comme la première, à la promptitude du sillage; mais comme elle transmet son action au Navire même, elle ne travaille en aucune manière à rompre la mâture. L'effort que fait le hunier entier est de 25920 livres, & il réside dans le point K, qui est le centre de gravité de la surface de la voile. D'un autre côté c'est la plus grande partie de l'effort de la voile inférieure qui agit en I; & cet effort partial est de 13500 livres. Cela supposé, il suffit de partager la distance IK en raison réciproque de 25920 & de 13500; pour avoir le centre d'effort commun L, dans lequel les deux efforts se réunissent; ce point est environ 8 pieds au-dessus de I, & 56 au-dessus de H; & c'est donc à cette hauteur qu'il faut considérer la puissance totale de 39420 livres qui

agit sur le mât inférieur perpendiculairement à sa longueur. Tout l'effort se réunissant ainsi dans un seul point, le mât est dans le même cas qu'un solide exposé à l'action d'une seule puissance appliquée à son sommet. Il doit avoir aussi par conséquent la forme d'un conoïde produit par la révolution d'une première parabole cubique, & le point L est naturellement son sommet ou la tête de son tenon. Fig. 46.

Mais puisque le mât inférieur doit être assez gros pour soutenir un effort de 39420 livres appliqué à 56 pieds de distance de son pied, il doit l'être aussi assez pour soutenir un effort 56 fois plus grand, ou un effort de 2207520 livres qui ne seroit qu'à un pied de distance. Ainsi il doit être environ 18094 fois plus fort que le bâton d'expérience dont nous avons parlé ci-devant, qui ne soutient que 122 livres. Pour donner effectivement cette force au mât, il faut qu'il ait environ $26\frac{1}{10}$ fois plus de grosseur; car $26\frac{1}{10}$ est à peu près la racine cubique de 18094. C'est-à-dire donc que le grand mât doit avoir dans les Vaisseaux du premier rang, un peu plus de $26\frac{1}{10}$ pouces de diamètre, pour pouvoir résister à l'impulsion du vent violent que nous avons supposé.

I V.

Il est un peu plus difficile de régler la grosseur des vergues, parce que l'effort qu'elles ont à soutenir, dépend non-seulement de l'impulsion du vent, mais aussi du plus ou du moins de force que les Marins employent pour tendre les voiles. Supposé que ITH (Fig. 47.) représente la courbure de la voile inférieure depuis le haut jusqu'en bas, & GVI la courbure de la supérieure; il est évident que la voile inférieure transmettra son action aux deux points I & H, selon la direction même qu'elle a dans ces deux points, ou selon ses tangentes IL & HL. Ainsi son effort absolu qui est représenté par OL, se décomposera dans les deux partiels ML & NL; & par-là même raison l'effort total SP, que fait le vent sur toute l'étendue de la voile supérieure GVI, se décomposera dans les deux partiels Fig. 47.

Z iij

Fig. 47. RP & QP qui s'exerceront selon les deux tangentes GP & IP . La première RP de ces deux dernières forces tend à rompre le mât de hune, en agissant sur son sommet, selon GP ; cependant comme elle agit obliquement, elle se décompose encore : une de ses parties s'épuise en tirant le mât de haut en bas selon sa longueur, & l'autre qui agit perpendiculairement, est à peu près la moitié de SP , & c'est elle que nous avons déjà considérée & que nous avons trouvée, en divisant l'effort total SP réciproquement aux deux distances du centre de gravité de la voile à son sommet & à sa base. Mais la force même RP agit perpendiculairement contre la vergue supérieure, & on peut remarquer qu'à mesure qu'on tend la voile davantage, l'angle en P que forment les deux tangentes GP & IP , se trouve plus ouvert, & que les forces résultantes RP & QP deviennent plus grandes par rapport à l'effort primitif SP . Les forces RP & QP deviendroient même infinies, si on pouvoit tendre assez la voile, pour que toute sa courbure GVI disparût; & alors l'effort RP romperoit infailliblement la vergue, quelque grosseur qu'elle eût.

Il est donc à propos de ne pas trop tendre les voiles, & il paroît qu'on doit se contenter que l'effort RP soit égal à l'effort SP ; ce qui arrive à peu près lorsque l'angle formé par les deux tangentes en P , sera d'environ 120 degrés, ou que la voile sera en haut & en bas en G & en I avec le mât, des angles d'environ 30 degrés. Alors l'effort RP sera de 25920 livres; mais il suffit que la vergue puisse en soutenir seulement la moitié 12960 livres : car pendant qu'une moitié, comme $GBDI$ de la voile $ABDG$ (Fig. 46) travaille à rompre la vergue au milieu en G , l'autre moitié $AGIC$ ne fait qu'entretenir l'équilibre, ou que maintenir la vergue dans la même situation, à peu près de la même manière que le mur dans lequel est scellé l'extrémité d'une pièce de bois, sert à rendre fixe cette extrémité, pendant que le poids qu'on met à l'autre bout, cause la rupture. En un mot, ce n'est qu'un effort de 12960 livres, qui travaille à rompre la vergue supérieure en G , & cet effort est

appliqué en M au milieu de GB à 24 pieds de distance. Or ce seroit la même chose si cet effort étoit 24 fois plus grand, ou de 311040 livres, & qu'il ne fût appliqué qu'à un pied de distance. Ainsi la vergue supérieure doit être environ 2600 fois plus forte que le bâton d'un pouce de diamètre, qui soutient 122 livres; & il suit de-là qu'elle doit avoir dans son milieu environ $13\frac{4}{7}$ pouces de diamètre.

La vergue du milieu aura à peu près le même effort à soutenir : car de l'effort ML (Fig. 47.) que fait la voile inférieure sur le point I, selon la tangente IL, & de l'effort QP que fait la voile supérieure sur le même point selon la tangente IP, il doit résulter un effort composé, ou commun, qui s'exercera horizontalement, & qui sera à peu près égal à chacun des deux premiers. C'est-à-dire que la vergue intermédiaire aura aussi un effort de 12960 livres à soutenir, comme la supérieure; & cependant elle doit être plus grosse, parce que cet effort est appliqué à une plus grande distance. Cet effort s'exerce dans le point N (Fig. 46.) qui est à 30 pieds du point I, puisque la vergue entière a 120 pieds de longueur; & comme il agit de la même manière qu'un autre effort qui seroit 30 fois plus grand, ou qui étant de 388800 livres, seroit appliqué à un pied de distance; il s'ensuit que la vergue intermédiaire doit être environ 3186 fois plus forte que le bâton de sapin qui nous a toujours servi de terme de comparaison, & qu'elle doit avoir par conséquent environ $14\frac{1}{8}$ pouces de diamètre en son milieu. Au surplus, on ne doit pas s'étonner si nous donnons beaucoup moins de grosseur à nos mâts & à nos vergues qu'on ne l'a fait jusqu'à présent. Nos voiles n'ont pas moins d'étendue ni moins de force absolue pour faire singler le Navire, que les voiles ordinaires: mais comme elles ont beaucoup moins de hauteur, elles doivent avoir moins de moment ou de force relative pour produire les mauvais effets.

Fig. 47.

Fig. 47.

* CHAP.
VI.

Lorsque les Navires seront parfaitement semblables, & qu'on observera les règles de mâture que nous avons établies dans la Section précédente *, il ne sera pas nécessaire de recommencer les calculs pour déterminer la grosseur de la mâture de chaque Vaisseau. La force relative qu'ont les voiles pour faire rompre leurs mâts, est à peu près la même que celle qu'elles ont pour faire incliner le Navire ; & cette seconde force étant en équilibre avec celle qu'a le Vaisseau pour se soutenir, laquelle est proportionnelle au quarré quarré de sa longueur ; il s'ensuit que dans les Navires dont la mâture est également bien disposée, la force relative qu'ont les voiles pour faire rompre les mâts, est comme le quarré quarré de la longueur du Navire : ainsi pour que les mâts soutiennent cette effort, il faut que les cubes de leur diamètre soient comme les quarrés quarrés des longueurs des Vaisseaux ; & que par conséquent leurs diamètres soient comme les racines cubiques des quarrés quarrés de ces longueurs, ou qu'ils soient comme les mêmes longueurs élevées à la puissance qui a $\frac{4}{3}$ pour exposant.

Cela supposé, il n'y aura qu'à faire par les logarithmes l'analogie suivante, pour trouver la grosseur des mâts de tous les Navires qui seront semblables aux Vaisseaux du premier rang, dont nous venons d'examiner les dimensions de la mâture. On mettra au premier terme les $\frac{4}{3}$ du logarithme de la longueur du Vaisseau du premier rang ; au second terme le logarithme du diamètre de ses mâts ; au troisième terme les $\frac{4}{3}$ du logarithme de la longueur des autres Navires dont il sera question ; & on aura au quatrième terme le logarithme du diamètre de leur mâts. Le Vaisseau du premier rang a 172 pieds de long, & son mâts de hune doit avoir 17 pouces de diamètre : si on veut donc avoir le diamètre du mâts de hune pour un Navire semblable qui n'a que 150 pieds de long, on aura cette proportion Arithmétique : 2.7944105 | 1.2304489 || 2.7201141 | 1.1561525 ;

1.1561525 ; & le quatrième terme qui répond à environ Fig. 47:
 $14\frac{3}{5}$, apprendra qu'il faut donner $14\frac{2}{5}$ pouces de diamètre
 au mât de hune dans le vaisseau dont il s'agit. Au lieu de
 comparer les grosseurs des mâts aux dimensions des Na-
 vires , on peut les comparer immédiatement aux lon-
 gueurs même des mâts. Les carrés des hauteurs de la
 mâture sont comme les cubes des longueurs des Navires.
 Or il suit de-là que les longueurs des mâts élevées à la
 puissance $\frac{8}{9}$, sont comme les longueurs des Navires éle-
 vées à la puissance $\frac{2}{3}$; & qu'elles sont donc comme les dia-
 mètres des mâts.

On trouvera aussi à peu près de la même manière , &
 dans les mêmes circonstances , les grosseurs des vergues :
 on reconnoîtra aisément que leurs diamètres sont sensi-
 blement comme les racines sixièmes des septièmes puis-
 sances des longueurs des Vaisseaux. Nous avons vû dans
 le Chapitre que nous venons de citer , que les carrés
 des hauteurs des mâts sont comme les cubes des longueurs
 des Navires : d'où il suit que les hauteurs de la mâture sont
 comme les racines carrées des cubes des longueurs des
 Navires , ou comme ces longueurs élevées à la puissance
 dont $\frac{2}{3}$ est l'exposant. Si on multiplie donc les hauteurs par
 les largeurs des voiles qui sont en même rapport que les
 largeurs ou les longueurs du Navire , on aura l'étendue des
 voiles en même raison que les longueurs des Navires éle-
 vées à la puissance $\frac{2}{3}$; & si on multiplie cette étendue en-
 core par la largeur pour avoir le moment ou la force re-
 lative qui tend à rompre la vergue , on aura ce moment
 en même raison que les longueurs du Navire élevées à
 la puissance $\frac{2}{3}$. Ainsi les résistances relatives des vergues ,
 ou ce qui revient au même , les cubes de leurs diamètres
 doivent être comme les longueurs des Navires élevées à
 la puissance dont $\frac{2}{3}$ est l'exposant : & par conséquent les
 diamètres mêmes des vergues sont comme les lon-
 gueurs élevées à la puissance $\frac{2}{3}$. Il suit de - là qu'on peut
 faire cette analogie ou proportion arithmétique : mettre
 au premier terme les $\frac{2}{3}$ du logarithme de la longueur du

Fig. 47. Vaisseau du premier rang; au second terme le logarithme du diamètre de ses vergues; au troisième terme les $\frac{2}{3}$ du logarithme de la longueur de tout autre Navire proposé, & qu'on aura au quatrième le logarithme du diamètre des vergues de ce dernier Navire. Comme on peut mettre dans la proportion précédente les longueurs des vergues à la place des longueurs des Navires, puisqu'elles sont en même rapport; il s'ensuit, que les diamètres des vergues sont comme les puissances $\frac{2}{3}$ de leurs longueurs dans les Navires de différentes grandeurs.

C H A P I T R E V I.

De la résistance des Cordages, & de la maniere de les rendre plus forts.

IL ne nous reste plus qu'à examiner la force absolue des cordages, ou la force dont ils sont capables, lorsqu'on les tire selon le sens de leur longueur. Il semble que lorsqu'il sont formés de chanvre de la même qualité, leur force doit être proportionnelle à leur grosseur absolue, ou à l'étendue de leur coupe faite perpendiculairement à leur longueur, puisque cette étendue répond à la quantité de matière qu'ils contiennent. Si un cordage a trois fois plus de circonférence, l'étendue de sa coupe sera 9 fois plus grande; il sera formé de 9 fois plus de parties qui résisteront; & il devrait avoir par conséquent 9 fois plus de force. Mais la difficulté de bien filer les cordages, fait que les gros ne résistent pas autant qu'ils le devraient selon cette règle, & il s'en faut même beaucoup. *En cablant* un cordage, plusieurs des fils se rompent ou s'altèrent extrêmement; plusieurs outre cela se trouvent lâches, pendant que d'autres sont très-tendus & déjà chargés d'un grand effort par la torsion; & il arrive que ces derniers ont à soutenir tout le fardeau auquel on expose le corda-

ge , avant que les autres agissent en rien. Les premiers fils doivent donc se rompre , si l'effort qu'ils suportent , est trop grand ; & les seconds fils chargés à leur tour , céderont aussi : au lieu que si tous avoient résisté ensemble , ils eussent pû , en s'aidant mutuellement les uns les autres , montrer une force beaucoup plus grande. Ce défaut doit avoir principalement lieu dans les plus gros cordages & dans les cables. Car outre qu'on n'apporte pas toujours le même soin en faisant les gros cordages , qu'une corde menuë dans laquelle l'ouvrier sçait qu'on reconnoitroit plus aisément sa négligence , la torsion qui est plus grande , altere un plus grand nombre de fils : de sorte qu'il s'en trouve toujours davantage , ou qui sont trop tendus , ou qui ne le sont pas assez ; ou qui sont déjà rompus.

Chaque fil simple ou chaque brin de chanvre est capable d'un grand effort à proportion de sa grosseur ; il est beaucoup plus fort qu'un égal fil de lin. C'est ce qu'il est facile d'expérimenter , & ce que l'expérience a déjà appris d'avance par l'usage des différentes toiles. Mais si avec plusieurs brins on fait une ficelle , il ne faut plus compter sur la seule force absoluë de chaque brin ; car comme ils ne sont pas assez longs , & qu'ils sont simplement engagés les uns avec les autres par la maniere dont ils sont filés , la ficelle pourroit se rompre , sans que chaque brin en particulier se cassât. C'est pourquoi l'âpreté de chaque fil simple qui contribué à l'empêcher de glisser entre les autres , aide beaucoup à la force du tout , & le chanvre a encore de ce côté un grand avantage sur le lin. Il en a aussi à peu près par la même raison sur *la pite* , une espèce d'aloës , dont on fait des cordages dans plusieurs endroits de l'Amérique. La pite a de longues feuilles fort épaisses qui se terminent en pointe , & on tire , en subdivisant cette feuille selon sa longueur , & celle de ses fibres , des fils simples qui sont assez longs & assez forts ; mais faute d'être souples , ils ne se joignent jamais bien ensemble , & ne forment pas un corps assez serré. Ainsi on

voit que plusieurs circonstances sont nécessaires , pour qu'une matière soit propre à faire de bons cordages ; il faut que chaque de ses parties ou de ses brins ait beaucoup de force , qu'en même tems ils soient souples , & qu'outre cela leur surface ne soit pas polie ou lisse , mais qu'elle soit rude. On peut encore ajouter une quatrième condition qui aide beaucoup aux autres , & qui peut même y suppléer , aux moins aux dernières : c'est que les fils simples soient fort longs. Cette quatrième condition dispense , lorsqu'on file le cordage , de le trop tourner , ce qu'on a été obligé de faire , lorsqu'on a voulu , par exemple , se servir de coton. La longueur des fils est cause qu'ils se trouvent suffisamment engagés les uns & les autres par la moindre torsion ; & chaque fil ayant ensuite moins souffert d'altération , & étant outre cela moins oblique par rapport à la longueur de la corde , tout le cordage doit résister beaucoup davantage.

Il est facile de voir que si on pouvoit engager les fils les uns avec les autres sans les tordre , les cordages seroient beaucoup plus forts. Indépendamment de l'effort dont sont déjà chargés les fils tordus , leur obliquité par rapport à la longueur de la corde , doit seule en diminuer la force d'un tiers : puisque c'est l'usage en France , comme nous l'avons déjà dit , & apparemment que ce sera à peu près la même chose ailleurs , de tourner les gros cordages jusqu'à ce que leur longueur soit réduite aux deux tiers. Nos cables ont 120 brasses de longueur ou 600 pieds ; & pour les faire , on se sert de fils qui ont 180 brasses ou 900 pieds. Or si AB (Fig. 48.) est un de ces premiers fils qu'on nomme *fil de carret* , & qu'il ait par rapport à la longueur des cordages qu'il contribue à former , la situation qu'à AB par rapport à BC ou à AD , la force selon sa propre longueur AB , se décomposera & en fournira une moindre selon la direction BC ou DA du cordage ; dans le même rapport que AB est plus grand que BC ou DA ; c'est-à-dire dans le rapport de 3 à 2. D'un autre côté la force absolue *des fils de carret* est très-variable ; il s'en

Fig. 48.

trouve qui sont deux fois plus foibles les uns que les autres , quoiqu'on se soit proposé de les rendre égaux , & de leur donner à peu près la même grosseur (environ une ligne & demie de circonference.) J'en ai vû qui soutenoient jusqu'à 120 livres , & d'autres qui se rompoient , lorsqu'on les chargeoit seulement de 50 ; indépendamment de ce qu'ils sont toujours plus foibles , lorsqu'ils sont plus longs , parce qu'ils ont plus d'endroits défectueux. Il est de cette sorte extrêmement difficile d'estimer leur force moyenne : cependant je crois qu'on peut la mettre à 80 livres ; & il faut donc en rabatre un tiers , puisque cette force de 80 livres ne peut s'exercer que selon la propre longueur du fil , & non pas selon celle du cable qui est fort différente , & selon laquelle , comme nous venons de le voir , il n'y a que les deux tiers de la force totale qui agisse. Ainsi on ne doit guères évaluer qu'à 53 ou 54 livres , l'effort que peut soutenir chaque fil de carret dans le cable ou le cordage qu'il forme.

Fig. 48.

Ces fils peuvent être plus ou moins gros dans différentes Corderies ; mais aussi-tôt qu'on a compté une fois combien il en entre dans un cordage d'une certaine grosseur , après qu'on aura expérimenté leur force , on pourra sçavoir à peu près la force totale du cordage , & juger de celle de tous les autres. Il n'importe ensuite que quelques autres cordages soient faits avec du fil de carret plus ou moins gros ; car si ce fil est , par exemple , plus gros , il sera plus fort ; mais il en entrera moins dans le cordage qui est d'une circonference déterminée , & la force totale sera toujours sensiblement la même , pourvû que le chanvre soit de la même qualité. J'ai ajouté qu'on ne sçaura qu'à peu près la force totale , cette restriction est nécessaire : car il peut arriver qu'il n'y ait que les trois quarts , ou les quatre cinquièmes du nombre des fils qui soutiennent le premier effort , les autres n'étant pas assez tendus ; & dans ce cas le cordage n'auroit que les trois quarts ou les quatre cinquièmes de la force qu'il devrait avoir. On peut malgré tout cela prendre pour règle pour

Aa ij

Fig. 48. les cordages qu'on fait ordinairement en France, que le nombre des tonneaux qu'ils peuvent soutenir sans risque, est exprimé par le quart du quarré de leur grosseur en pouces. Si un cordage a 10 pouces de grosseur, c'est-à-dire de circonference, le quarré sera 100, dont le quart 25 marque que le cordage peut soutenir au moins 25 tonneaux ou 50000 livres, sans qu'on ait à craindre qu'il se rompe. Par la même raison un cordage de 8 pouces de circonference doit soutenir 16 tonneaux ou 32000 livres : un cable de 24 pouces de grosseur doit porter 144 tonneaux ou 288000 livres.

Au lieu de tourner ou de *cabler* les fils, comme on le fait toujours pour former les cordes, il vaudroit quelquefois mieux, ainsi que l'a proposé M. de Musschenbroek, en faire des faisceaux, qu'on lieroit fortement par dehors par d'autres fils mis en spirales; & avec ces faisceaux on en formeroit d'autres plus gros. Il n'y a point de doute que chaque fil étant ensuite situé parallèlement à l'axe de la corde, & n'ayant outre cela été sujet à aucune torsion considérable, ne résistât beaucoup davantage. Nous n'oserions cependant assurer que cette manière de former les cordages, fût bonne pour les manœuvres courantes, qui passent continuellement dans des poulies, & qui sont exposées à des frottemens qui feroient rompre en peu de jours, les fils extérieurs. Peut-être seroit-il plus à propos de se servir pour ces manœuvres d'un autre expédient que nous offre le même Auteur, d'entrelacer les fils les uns dans les autres, à peu près comme ils le sont dans les *garcettes*, ou dans les tresses rondes; mais il n'y auroit, à ce que je crois, aucun inconvénient à former des faisceaux, les états, les haubans & toutes les autres manœuvres *dormantes*. L'avantage qu'on y trouveroit, seroit très-considérable : car il résulte des expériences de M. de Musschenbroek qu'on pourroit ensuite donner beaucoup moins de grosseur absolue aux cordages, ou y faire entrer moins de chanvre, ce qui les rendroit en même tems moins pesants & moins chers. M. du Hamel a trouvé la même chose, comme

on le verra dans un excellent Traité qu'il nous prépare sur la Corderie. Lorsque ce Traité sera public, la petite règle que nous venons de donner, ne sera plus d'usage : il faudra en former quelqu'autre sur le même modele. Fig. 43.

Après tout, soit qu'on adopte cette proposition, ou qu'on suive l'ancienne pratique, il est toujours essentiel de prendre de grandes précautions pour faire en sorte que les fils de carret qui servent comme d'elemens aux cordes, soient tendus également. Cette condition me paroît aussi nécessaire dans le cordage fait en faisceau ou en tresse, que dans l'autre, & je persiste à croire que c'est principalement par le défaut de cette attention, qu'il s'en manque si considérablement que les gros cordages ne soient aussi forts à proportion que les petits; ou que les forces ne suivent le raport des quarrés des grosseurs ou des circonferences. Il seroit cependant facile de remedier, si on le vouloit, à ce défaut. Au lieu d'attacher les fils ou les premieres cordes qui doivent former les plus grosses, à cette espece de traîneau qu s'approche à mesure que le cordage se raccourcit, pendant qu'on le *cable*; ne pourroit-on pas faire passer ces fils par-dessus des poulies, & les charger tous par leurs extrémités d'un poids égal, & qui ne fût pas trop grand? Ayant tous le même degré de tension, ils se joindroient dans cet état. On pourroit aussi prendre quelque précaution équivalente, lorsqu'on joint ensemble ces cordes qu'on nomme torrons, & qu'on en forme de plus gros cordages.



C H A P I T R E V I I .

De la force que doivent avoir différentes manœuvres.

I.

A USSI-TÔT qu'on réussira à rendre les cordages parfaits, ils ne pourront guere manquer d'avoir des forces proportionnelles au quarré de leur circonference; & il arrivera ensuite qu'on aura bien réglé dans la Marine la grosseur de la plûpart des manœuvres. Lorsqu'un Vaisseau est deux fois plus long, deux fois plus large, &c. on donne deux fois plus de grosseur à ses manœuvres; c'est la seule règle qu'on a suivi jusqu'à présent pour proportionner tout, parce qu'elle s'est présentée la première, comme la plus simple; & elle s'est trouvée bonne dans la plûpart des circonstances. Nous avons vû ci-devant qu'on donne toujours de circonference au plus gros cable la quarante-huitième partie de la largeur du Navire. Ainsi la force du cable qui est comme le quarré de sa circonference, a toujours un raport constant avec le quarré de la largeur ou de la longueur du Navire; elle est toujours proportionnelle à la surface de la carène, & elle est donc aussi toujours en état de soutenir le Vaisseau contre les chocs qu'il reçoit, lesquels sont proportionels à cette même surface. Dans le Navire deux fois plus long, la surface de sa carène est quatre fois plus grande, & il reçoit donc, lorsque la Mer est également agitée, quatre fois plus d'impulsion de la part des vagues; mais le cable ayant deux fois plus de circonference, fera aussi quatre fois plus fort, précisément comme il doit l'être.

Si le cable étoit destiné à arrêter le Navire lorsqu'il singe à toutes voiles, & qu'il a déjà acquis son plus grand mouvement, ce ne seroit plus la même chose; le cable seroit

seroit trop foible pour les grands Vaisseaux. Car un Navire deux fois plus long, ayant huit fois plus de solidité, & son mouvement étant proportionel à sa masse, parce que la vitesse est suposée la même, il a huit fois plus de force pour continuer à se mouvoir; pendant que le cable qui n'auroit seulement que quatre fois plus de force, ne seroit donc pas capable de le retenir. Mais le cable n'est pas destiné à cet usage : Le Navire est actuellement en repos; la Mer est seulement agitée, pendant que le vent frappe avec violence sur les manœuvres & sur les *œuvres mortes*. Or ces efforts sont simplement plus ou moins grands, tout le reste étant égal, selon que la surface du Navire est plus ou moins grande; & la force du cable est exactement proportionnelle à cette surface.

C'est la même chose des haubans, des cales-haubans, des écoute, des bras & de la plûpart des autres manœuvres. Les haubans soutiennent principalement les mâts contre l'effort du vent, & cet effort est proportionel à la surface des voiles, à laquelle est aussi proportionelle la force des haubans. Il ne faut pas compter ici la hauteur du centre d'effort des voiles, qui est cause que l'effort agit, comme s'il étoit appliqué à un bras de levier plus long, pour rompre les mâts : car les haubans agissent aussi de la même maniere; ils sont appliqués plus ou moins avantageusement, selon que le Navire est plus ou moins grand, puisqu'ils sont arrêtés sur le bord qui est à différentes distances du pied du mât, selon les diverses grandeurs du Navire.

Mais il faut remarquer qu'on n'est dispensé d'avoir égard au bras de levier auquel l'effort est appliqué, que lorsqu'il s'agit de comparer les manœuvres d'un Vaisseau à celles d'un autre, & que les deux dispositions de la mâture sont semblables. S'il étoit question de juger de la force absolue ou de l'effet des haubans, il faudroit, comme il est évident, considérer non-seulement les forces en elles-mêmes, mais aussi la maniere dont elles sont situées. Pour reconnoître si ces cordages ont effectivement assez de force,

nous établirons notre calcul sur les dimensions des Vaisseaux du troisième rang que nous supposerons mâtés selon les règles vulgaires. Les trois voiles du grand mât, la grande voile, le grand hunier & le grand perroquet, ont environ 7000 pieds quarrés de surface, & si chaque pied est sujet à un effort de 6 livres, ce qui ne peut arriver que lorsque le vent a trop de violence, pour que les Marins se hasardent à porter leurs voiles hautes, l'impulsion totale sera de 42000 livres, & elle s'exercera sur une direction qui sera environ 60 pieds au-dessus de l'endroit du mât auprès du pont, où il est le plus sujet à se rompre, & qui sert d'hypomoclion. C'est ce qu'on peut sçavoir aussi exactement qu'on voudra, en cherchant le centre de gravité de la surface des voiles; mais nous nous arrêterons à 60 pieds. D'un autre côté les haubans qui sont *frapés* à la tête du grand mât, & qui viennent se rendre au bord du Navire, peuvent être éloignés du pied du mât, en mesurant la distance perpendiculairement, & en prenant la distance moyenne, d'environ 20 pieds. Ainsi ils sont appliqués à un bras de levier moins long; & il faut donc les rendre capables d'une plus grande force à proportion, conformément à cette analogie; 20 pieds sont à 60, comme 42000 livres sont à 126000 livres, pour l'effort absolu qu'ont à soutenir les haubans. Or chaque hauban du grand mât dans les Vaisseaux du troisième rang, a 7 pouces à peu près de circonference, ce qui les doit rendre capables, pour le moins, d'un effort de $12\frac{1}{4}$ tonneaux, ou de 24500, & comme il y en a huit de chaque côté, ils peuvent soutenir ensemble 196000 livres. On voit donc clairement qu'ils sont plus qu'en état de soutenir la mâture, quand même il n'y auroit point d'autres manœuvres qui contribuassent au même effet, & que le mât n'eût d'ailleurs aucune force pour résister latéralement.

I I.

Mais lorsque la grosseur ou la circonference des manœuvres, n'a pas dû être proportionnelle aux dimensions

simples des Navires, les Marins ne pouvoient pas manquer de s'y tromper; & c'est ce qui est arrivé au sujet des étays, & de tous les cordages destinés à soutenir quelques poids. On se souvient que les étays, comme KL (Fig. 37.), servent dans le tangage ou dans les balancemens du Vaisseau, qui se font dans le sens de sa longueur, à obliger les mâts à prendre toute la rapidité du mouvement avec lequel la prouë se précipite quelquesfois dans l'eau. Il suit de-là que l'étay doit avoir une force non pas proportionnelle au quarré des dimensions simples des Navires, mais à leur quarré quarré. Car la résistance absolüe que font les mâts, les vergues, &c. à recevoir le mouvement qu'ils doivent prendre, dépend de leur solidité ou de leur masse, & de la vitesse qu'ils reçoivent dans chaque point, laquelle est à peu près proportionnelle à leur hauteur. Ainsi cette résistance absolüe est comme la solidité des mâts multipliée par leur hauteur, ou comme les quarrés quarrés des dimensions simples du Navire; & puisque la force des étays doit y être égale, les quarrés des grosseurs de ces manœuvres doivent être comme les quarrés quarrés des dimensions simples du Vaisseau, ou ce qui revient au même, les circonférences des étays doivent être comme les quarrés de ces mêmes dimensions. On voit par-là que nos Manœuvriers se sont extrêmement trompés dans cette rencontre; puisque dans un Navire deux fois plus long, ils se contentent de donner aux étays deux fois plus de circonférence, au lieu qu'ils en devroient donner quatre fois plus. Dans un Vaisseau du troisième rang, le grand étay a 13 pouces de grosseur, le maître bau étant long de 39 pieds: si on veut chercher à proportion la grosseur que doit avoir cette manœuvre dans un Vaisseau du premier rang, qui a 48 pieds de bau, il n'y a qu'à faire cette analogie; le quarré 1521 du bau du premier Navire, est à la grosseur 13 pouces de son étay, comme le quarré 2304 du bau du second est à un peu plus de 19 pouces pour la grosseur de son étay; au lieu que selon les règles ordinaires, on ne lui en donne que 16. On ne peut pas assurer qu'il

Fig. 37.

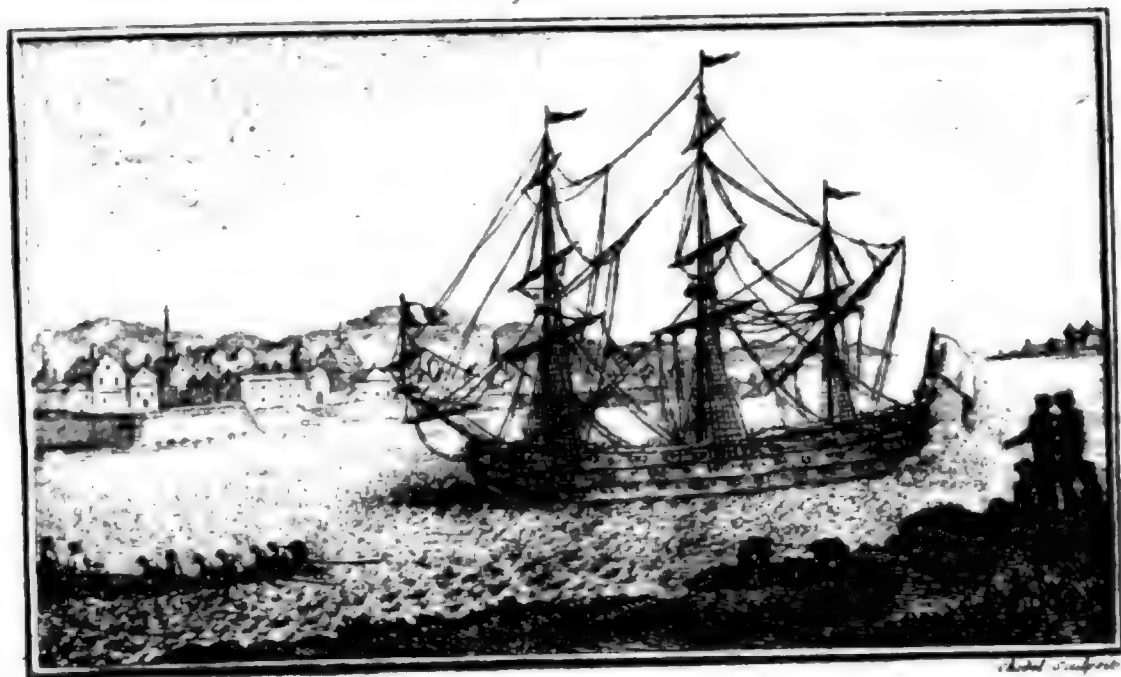
Bb ij

soit absolument nécessaire de rendre ces manœuvres si grosses dans les Vaisseaux du premier rang : mais alors ce seroit une marque qu'elles ont trop de grosseur dans les Vaisseaux du troisième.

Fig. 37. Enfin , si on se détermine à ne pas rendre les dimensions de la mâture proportionnelles à celles du Vaisseau , il ne faudra plus que la force des étays , ou que le quarré de leur grosseur soit proportionnel à la solidité de la mâture multipliée par la hauteur , mais à cette solidité multipliée par le quarré de la hauteur , & divisée par la longueur de la perpendiculaire TV , abaissée du pied T du mât sur l'étau KL. La difficulté que fait la mâture à prendre du mouvement , est toujours comme la solidité de cette mâture multipliée par sa hauteur ; mais il faut encore multiplier ce produit par la hauteur pour en avoir le moment ou la force relative : car la même résistance fait relativement plus ou moins d'effet , selon qu'elle est appliquée plus ou moins haut. Or ce moment doit être égal à celui de la force de l'étau , qui est le produit de cette force multipliée par la distance TV de sa direction au pied du mât qui sert d'hypomocion. Ainsi la force absolue de l'étau doit être égale , ou plutôt proportionnelle à la solidité de la mâture multipliée par le quarré de sa hauteur , & le produit divisé par la perpendiculaire TV. Dans les cas où la mâture est proportionnelle aux autres parties du Vaisseau , il y a un rapport constant entre la perpendiculaire TV & la hauteur du mât. C'est pourquoi on peut négliger une fois la hauteur de la mâture d'un côté , & de l'autre la perpendiculaire TV ; & dans ce cas particulier la force de l'étau , ou le quarré de sa grosseur , est simplement proportionnel à la solidité de la mâture multipliée par sa hauteur , ou au quarré quarré de cette même hauteur.

612

Fin du premier Livre.



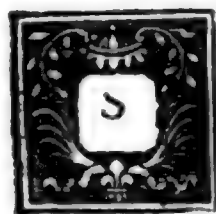
TRAITÉ DU NAVIRE, DE SA CONSTRUCTION, ET DE SES MOUVEMENTS.

LIVRE SECOND.

Du Vaisseau considéré à flot, mais lorsqu'il ne single pas.

Tranquillis primùm trepidus se credidit undis.

Cland.



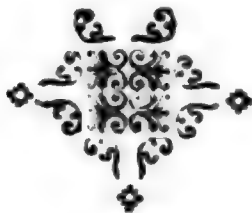
SOIT qu'on se propose de former un projet de Vaisseau sur les Maximes que nous venons d'expliquer dans le premier Livre, ou qu'il s'agisse d'en examiner un déjà formé, il est évident qu'on doit d'abord, pour ne rien abandonner au hazard, s'assurer si le Navire ne sera pas trop pesant, & n'enfoncera dans l'eau que jusqu'à l'endroit

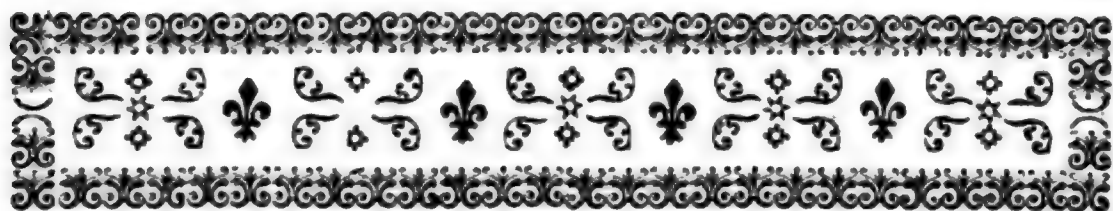
Bb iij

convenable, lorsqu'il sera chargé de sa mâture, de ses agrès, & muni de toutes les autres choses nécessaires. Nous ne pouvons pas nous dispenser de nous occuper de cette considération, & de commencer par elle; puisque le Vaisseau couleroit à fond dans le Port même, si l'on manquoit de l'observer. Il est vrai que n'augmentant la charge que peu à peu, & qu'autant qu'on le peut faire sans risque, on n'a guere dans l'usage ordinaire ce fâcheux accident à craindre, quoiqu'il soit quelquefois arrivé: mais outre que c'est un grand défaut qu'un Navire destiné à transporter un grand poids, ne porte pas tout ce qu'il eût été capable de recevoir, s'il eût été mieux construit; l'inconvénient est infiniment considérable dans les Vaisseaux de guerre, qui malgré les frais immenses qu'ils ont coûté, sont condamnés à ne servir que de triste spectacle dans le Port, s'ils ne joignent pas à l'avantage de se bien comporter en Mer, celui de pouvoir être armés d'une forte artillerie.

Mais ce n'est pas assez que la pesanteur de tout ce qui entre dans le Navire, soit proportionnée à sa grandeur & à l'usage auquel il est destiné, il faut encore que cette pesanteur soit distribuée d'une manière particulière, & que le point dans lequel on peut supposer qu'elle se réunit, ne soit pas trop élevé. Ainsi il nous faudra examiner aussi cette distribution avec soin: il faudra rechercher les conditions du bon *arrimage* *; non-seulement afin que le Vaisseau se soutienne d'une façon stable, mais afin que les balancemens *du roulis* auxquels il est toujours sujet en mer, n'apportent aucun préjudice à sa Navigation.

* C'est l'arrangement de la charge. Ce mot est tiré de l'Espagnol.





P R E M I E R E S E C T I O N.

De la pesanteur du Vaisseau, & de la force
qu'a l'eau pour le soutenir.

C H A P I T R E P R E M I E R.

*De la force qu'a l'eau pour soutenir le Navire en le
poussant en haut selon une direction exactement
verticale.*

I.

LE Principe d'Hydrostatique qui doit servir de règle dans toute cette matière, & qu'on doit avoir continuellement présent à l'esprit, c'est qu'un corps qui flotte sur une liqueur, est poussé en haut avec une force égale au poids de l'eau, ou de la liqueur dont il occupe la place. Si un Navire pèse 400000 ou 500000 livres, il enfonce jusqu'à ce qu'il occupe la place de 400000 ou 500000 livres d'eau : supposé qu'on le rende plus pesant, il enfonce encore davantage ; mais il ne le fait toujours que jusqu'à ce que le volume de toute l'eau qui a été obligée de se retirer, pèse précisément autant que lui. Dans tous ces cas il est poussé verticalement en haut par la liqueur : il est poussé avec autant de force qu'il tend à descendre ; & la parfaite égalité qu'il y a entre ces deux puissances qui agissent l'une contre l'autre en sens contraire, fait qu'elles se

trouvent continuellement en équilibre. Sans cette force qu'à l'eau, de même que toutes les autres liqueurs pour pousser en haut, & que nous nommerons ici, comme nous l'avons déjà fait ailleurs, *leur poussée verticale*, tous les corps qui flotent sur une liqueur, tomberoient à fond. C'est aussi cette force ou cette *poussée* qu'on éprouve sensiblement, lorsqu'on tâche de plonger dans l'eau quelque corps léger qui est d'un grand volume. Plus on enfonce le corps, plus on éprouve de résistance; parce qu'on souleve une plus grande quantité d'eau, dont on doit ressentir tout le poids.

Pour rendre ceci plus sensible, nous supposons que **Fig. 49.** ABCD (Fig. 49.) est la surface d'une liqueur, & qu'on réussisse par quelque moyen que ce soit, à en ôter un certain volume, en laissant vuide l'espace BCH. Il est clair qu'il ne suffit pas, pour empêcher la liqueur de revenir remplir ce vuide dans l'instant, de mettre un corps qui occupe exactement la même place. Il faut encore que ce corps ait de la pesanteur, pour pouvoir produire par son poids le même effet que le volume de liqueur ôtée; mais cela ne suffit point encore: si le volume ôté pèse deux ou trois cent livres, il est non-seulement nécessaire que le solide pèse exactement autant; il faut outre cela que sa pesanteur s'exerce précisément sur la même direction. Il n'importe ensuite que le solide EBHC ait une partie BEC qui sorte de l'eau; pourvu que le poids du tout ne soit pas plus grand, & que son centre de gravité soit exactement dans la même verticale que le point G où étoit celui de la liqueur: car l'action sera toujours précisément la même. Mais puisque le solide BHCE se soutient sur la liqueur dans les conditions marquées, malgré la pesanteur qui travaille continuellement à le faire *couler à fond*, il faut que la liqueur agisse sans cesse de bas en haut avec une force contraire; & que cette force ou cette *poussée* ait pour direction la verticale du centre de gravité G de l'espace BCH.

Cette

I I.

Cette maniere de considérer la chose, fait au moins voir à *posteriori*, que toutes les liqueurs ont une force réelle pour pousser en haut les corps qu'elles supportent; mais on ne voit peut-être pas encore comment se forme cette action, ni comment un effort appliqué à la surface de la partie submergée du corps flottant, & qui semble s'y terminer, ait pour centre de réunion, non pas le centre de gravité de cette surface, mais celui de l'espace même qu'elle environne; quelque irrégulier qu'il soit. Comment se peut-il faire en effet que l'action de la liqueur aille saisir précisément ce point au dedans du corps, & s'y placer? Nous ne pouvons pas éclaircir cette difficulté, sans descendre dans un plus grand détail, ni sans examiner l'effort de la liqueur sur chaque partie extérieure du corps flottant.

Si l'on conçoit une partie *Ff* comprise entre deux plans horizontaux *KFIL*, & *kfil* infiniment près l'un de l'autre, toute la portion de liqueur renfermée entre ces deux plans, aussi-bien celle qui est proche du corps solide, que celle qui en est éloignée, & qui est exposée à l'action immédiate de la pesanteur de la liqueur supérieure, sera également comprimée. Car toutes les liqueurs ont cette propriété qui les caractérise, qu'il suffit de les presser dans un certain sens, pour qu'elles travaillent à s'étendre dans tous les autres; & cela jusqu'à ce qu'elles soient également comprimées par tout. Ainsi ce ne sont pas les seules parties comme *M*, qui sont chargées du poids de toutes celles qui sont au-dessus, qui se trouvent très-pressées; ce sont également les parties les plus retirées; ce sont celles qui sont proches de *F*, quoiqu'elles semblent être comme à l'abri de la pression. Elles ont à soutenir l'effort latéral de la liqueur située en *M*, laquelle pressée de haut en bas, fait un égal effort pour s'étendre horizontalement à droit & à gauche. Mais ces parties de liqueur qui sont proche de *F*, & qui sont ainsi comprimées, tendent à aya-

C c

cer dans tous les sens , & doivent , en s'appuyant contre la petite surface Ff du corps flottant , la pousser avec la même force que si cette surface étoit située horizontalement , & chargée du poids de toute la liqueur contenue dans la hauteur AM .

Fig. 49. Ce doit être la même chose de toutes les autres parties de la surface du corps solide : la pression à laquelle elles sont sujettes , ne dépend que de leur étendue , & de la quantité dont elles sont plus ou moins enfoncées dans la liqueur , sans que leur situation verticale ou inclinée apporte aucune différence à la pression. Pour le dire en un mot , chaque partie Ff , ou Ii , est poussée avec une force égale à la pesanteur d'une colonne de liqueur qui auroit AM pour hauteur , & pour base la partie même Ff ou Ii placée horizontalement. Mais ces pressions absolues , qui ont pour directions les perpendiculaires aux petites surfaces Ff & Ii , se décomposent ; car les petites surfaces Ff & Ii ne peuvent pas être poussées selon les lignes FO & IQ , sans l'être dans le sens vertical & dans l'horizontal. Supposé que FO & IQ représentent les impulsions absolues , & qu'on forme les rectangles $VFXO$ & $IYQZ$ par des côtes horizontaux & verticaux , on aura FV pour l'impulsion relative verticale à laquelle est exposée la particule Ff de la surface du corps flottant , & FX pour l'impulsion relative horizontale , pendant que IY & IZ représentent les forces relatives , verticale & horizontale , avec lesquelles sera poussée la petite partie Ii . Et ce qui est très-remarquable , c'est que les pressions relatives horizontales FX & IZ que souffrent les deux parties correspondantes ou opposées Ff & Ii , sont toujours parfaitement égales. Elles sont en effet plus petites que les pressions absolues dans le rapport qu'il faut pour cela ; elles sont plus petites , l'une dans le même rapport que FX est plus petite que FO , ou que fR est plus petite que fF , à cause de la ressemblance des deux triangles rectangles FXO & fRF ; & l'autre dans le rapport que iP qui est égale à fR , est plus petite que Ii : ce qui doit rendre ces forces relatives égales ;

aussi-tôt que les absolües sont l'une à l'autre comme fF est à iI . Car chacune de ces forces relatives est égale à la pesanteur d'une colonne de liqueur qui auroit toujours AM pour hauteur, mais seulement iP ou fR pour base. Il suit de-là que le corps flottant ne doit avancer ni d'un côté ni de l'autre, puisque toutes les pressions relatives horisontales que souffre chaque côté, doivent suspendre exactement l'effet des pressions horisontales que souffre le côté opposé.

A l'égard des pressions relatives verticales, ou des autres parties des forces absolües qui agissent de bas en haut, elles ne peuvent pas se détruire, puisqu'elles ne sont pas opposées : elles s'aident au contraire pour soutenir ensemble le corps. Il est facile de voir que ces forces relatives sont moindres que les forces totales ou absolües, dont elles dérivent dans le rapport de FR à Ff , ou de IP à iI . Ainsi une petite surface Ff qui est poussée par la liqueur dans le sens qui lui est perpendiculaire, avec une force égale à la pesanteur d'une colonne, dont AM seroit la hauteur, & Ff la base, ne doit être poussée dans le sens exactement vertical qu'avec une partie de cette force qui sera égale à la pesanteur de la colonne, dont AM sera également la hauteur, mais qui n'aura que FR pour base; c'est-à-dire que la petite surface Ff est poussée verticalement en haut avec une force précisément égale à la pesanteur qu'auroit une colonne de liqueur, dont SR marqueroit les dimensions. Ce sera la même chose de iI & de toutes les autres parties de la surface; & enfin pour avoir la poussée verticale qu'elles souffrent toutes, il n'y aura toujours qu'à supposer une colonne de liqueur au-dessus, jusqu'à la superficie AD , & la poussée sera égale à la pesanteur qu'auroit cette colonne. Or il suit de-là 1°. que tout le solide est poussé en haut avec une force égale à la pesanteur de toutes ces colonnes; ou ce qui revient au même, qu'il est poussé en haut avec une force égale au poids de tout le volume de liqueur BHC , dont il occupe la place. Il suit 2°. que cette force ou cette poussée de la

Fig. 49.

liqueur s'exerce sur la verticale qui passe par le centre de gravité G de la partie submergée BHC supposée homogène. Car aussi-tôt que la poussée verticale que souffre chaque partie Ff de la surface du corps solide, peut se comparer à la pesanteur de la colonne de liqueur correspondante, la direction composée de toutes les poussées particulières, doit être la même que la direction composée de toutes les pesanteurs des colonnes; sans qu'il importe que les actions de ces deux différentes puissances, se fassent en sens contraires.

III.

L'action des liqueurs étant ainsi établie, il seroit facile d'en expliquer tous les divers effets: Mais pour nous renfermer dans notre sujet, nous remarquerons seulement qu'il suffit d'examiner les dimensions de la carène d'un Navire, pour se mettre en état de résoudre deux problèmes importants; l'un de déterminer la pesanteur totale que doit avoir le Vaisseau; l'autre de sçavoir en quel endroit de sa longueur doit être situé son centre de gravité. Bornons-nous d'abord à la première question. Il est évident que si en prenant toutes les dimensions de la carène, on en cherche la solidité, on sçaura le volume de l'eau dont le Navire occupe la place, & qui est de même pesanteur que lui. Or comme le poids d'un pied cubique d'eau de Mer, quoiqu'un peu variable, est toujours assez connu, & qu'il est à très-peu près de 72 livres, il n'y aura qu'à multiplier par 72 les pieds cubiques de la solidité de la carène, & on aura la pesanteur du volume d'eau dont il s'agit, & par conséquent celle du Vaisseau qui est la même. Ordinairement on n'exprime pas cette pesanteur en livres, mais en tonneaux, qui est, comme nous en avons déjà averti, le poids de 2000 livres; ce qui rend l'opération plus simple, parce que 28 pieds cubiques d'eau de Mer, pesant à peu près 2000 livres, il n'y a qu'à diviser la solidité de la carène par 28, pour découvrir tout d'un coup les tonneaux d'eau de Mer qu'elle occupe, & en même tems les ton-

neaux que doit peser le Navire. Si, par exemple, la carène est de 10000 pieds cubiques, on trouvera en multipliant 10000 par 72 livres, & en divisant par 2000, que le Navire doit peser 720000 livres ou 360 tonneaux; & il vient aussi à peu près ce dernier nombre, lorsqu'on divise immédiatement 1000 par 28.

C'est non-seulement la pesanteur du Vaisseau entièrement armé qu'on peut découvrir de cette sorte; c'est aussi sa pesanteur dans tous les autres états. Lorsqu'on le lance à l'eau, & que sans mâturer son corps même n'est pas encore achevé, qu'il lui manque *tous ses hauts*, il n'enfonce que peu dans la Mer: mais il n'y a qu'à mesurer la solidité de la partie plongée; & par la pesanteur qu'aura un égal volume d'eau de Mer, on sçaura la pesanteur du corps du Vaisseau. Qu'on achève ensuite de le construire: qu'on le mâte, & qu'il ne lui manque plus que son lest ou que sa charge, il enfoncera davantage, sans cependant parvenir encore à ce terme où nous l'avons supposé d'abord. Mais la solidité de la partie submergée de sa carène indiquera sa pesanteur dans tous les différens cas, & en sera toujours pour ainsi dire *l'exposant*. Il est clair aussi que la partie de la carène qui sera hors de l'eau, & qui est destinée à y entrer, sera en même tems *l'exposant* du reste de la charge, ou du poids qu'on pourra encore ajouter à la pesanteur actuelle: supposé que cette partie soit de 5000 pieds cubiques, il faudra un poids de 360000 livres, ou de 180 tonneaux pour la faire enfoncer dans l'eau, & on pourra par conséquent charger encore le Vaisseau de tout ce poids.



C H A P I T R E I I .

Trouver la force avec laquelle l'eau pousse le Navire en haut.

Nous n'avons maintenant besoin pour faire usage des principes que nous venons d'expliquer, que d'une méthode simple & réglée de mesurer la solidité de la carène & de toutes ses parties; soit en prenant les dimensions même du Vaisseau, lorsqu'il est déjà construit; soit en prenant simplement ses mesures sur un plan qui le représente. Il seroit à souhaiter qu'on pût le regarder comme un corps géométrique d'une certaine figure déterminée: il suffiroit de prendre ses principales dimensions, & on concluroit ensuite tout d'un coup sa solidité.

I.

Première Méthode de mesurer la solidité de la carène en la considérant comme un ellipsoïde.

C'est l'ellipse conique ou ordinaire, qui de toutes les lignes courbes, entre le plus souvent dans la construction des Vaisseaux; & si l'on peut attribuer généralement à la carène une certaine figure; c'est celle de l'ellipsoïde; c'est-à-dire celle du corps dont toutes les tranches horizontales sont elliptiques, de même que les verticales. Cet ellipsoïde deviendrait un sphéroïde, si la profondeur de la carène étoit la moitié de sa plus grande largeur, ou que les coupes faites perpendiculairement à la quille, au lieu d'être des ellipses, fussent exactement des cercles: car alors la carène seroit formée par la demi-révolution d'une ellipse autour de son grand axe. Dans ce cas particulier, aussi-bien que dans le général, la solidité de la carène se-

roit à la solidité du parallepipede rectangle qui lui est circonscrit à très-peu près comme 11 est à 21, puisqu'on démontre en Géométrie, que ces solides sont l'un à l'autre, comme la circonference d'un cercle est à six fois son diamètre, & que ce dernier raport est exprimé à très-peu près par 11 & 21. Après qu'on auroit donc mesuré les trois principales dimensions de la carène, ou de la partie submergée du Navire, sa longueur, sa plus grande largeur & sa profondeur, & en avoir cherché le produit, il ne resteroit plus qu'à en prendre les $\frac{11}{21}$; ce qui rendroit toute l'opération extrêmement simple, si elle pouvoit avoir lieu dans tous les cas.

Suposé que la plus grande longueur de la carène fût de 140 pieds, sa plus grande largeur dans l'endroit où elle sort de l'eau de 40 pieds, & sa profondeur de 18; le solide circonscrit formé de ces trois dimensions, seroit de 100800 pieds cubiques, & si on en prenoit les $\frac{11}{21}$, ou qu'après avoir multiplié ces 100800 pieds cubiques par 11, on divisât le produit par 21, il viendrait 52800 pieds cubiques pour la solidité de la carène. Cette solidité divisée ensuite par 28, parce que 28 pieds cubiques d'eau marine pesent un tonneau, donneroit 1889 tonneaux pour la force totale avec laquelle la Mer pousse la carène en haut; & par conséquent pour la pesanteur totale qu'il faudroit qu'eût le Navire, y compris son propre poids, sa mâture, ses agrêils, ses munitions, sa charge, &c.

Mais nous ne devons pas dissimuler qu'on ne peut pas ainsi comparer généralement la carène des Vaisseaux à des ellipsoïdes ou à des spheroides, de quelque maniere qu'ils soient formés. La surface d'une ellipse est à peu près les $\frac{11}{14}$ du rectangle qui lui est circonscrit, mais dans les Navires ordinaires les coupes horisontales de la carène faites vers le haut, en sont pour le moins les $\frac{6}{7}$ ou les $\frac{1}{2}$. Il est vrai qu'il se fait presque toujours ensuite une espece de compensation, parce que les coupes faites plus bas sont beaucoup plus petites à proportion: d'où il peut arriver que la carène entiere au lieu d'être les $\frac{11}{21}$ du parallepipede cir-

conscrit, n'en soit que la moitié & même une moindre partie. C'est ce qui arrivera principalement, lorsqu'on rendra les lisses presque droites, comme l'exige la promptitude du sillage, ainsi que nous l'avons déjà dit dans le Livre précédent & que nous le montrerons dans le suivant; la carène sera alors à peine les $\frac{11}{14}$ du solide circonscrit. Mais vû l'état où est actuellement l'Architecture navale, on ne peut établir aucune règle générale sur toutes ces choses. Il est très-ordinaire que deux Vaisseaux aient exactement la même longueur, la même largeur & la même profondeur, & que cependant ils aient des solidités différentes d'une cinquième ou d'une sixième partie. Ainsi il faut absolument dans cette rencontre renoncer aux méthodes purement Géométriques qui ne sont applicables qu'aux corps d'une forme toujours déterminée, & non pas à la carène des Navires qui est le plus souvent comme formée au hazard. C'est pourquoi on ne peut réussir à en déterminer la solidité qu'en la divisant en plusieurs parties, ou qu'en la discutant par la mesure d'un très-grand nombre de dimensions.

II.

Seconde méthode de mesurer la Carène en la divisant en plusieurs prismes.

Tout l'art qu'on peut employer dans cette nouvelle opération, consiste à se servir de mesures qu'on puisse prendre avec facilité, & à faire aussi en sorte que les diverses parties dans lesquelles on partagera la carène, ou tout autre corps dont il s'agira de connoître la solidité, soient des figures de même espece & qui aient en même tems le plus de dimensions égales qu'il sera possible. Il n'y aura, par exemple, qu'à partager la carène par des plans horizontaux qui soient à une égale distance les uns des autres, & imaginer ensuite des plans verticaux perpendiculaires à la longueur du Navire, qui soient tous aussi également éloignés les uns des autres; & de cette sorte la carène sera divisée

visée en plusieurs prismes quadrangulaires ou de même grosseur, couchés dans le sens de la largeur & dont les deux extrémités seront terminées presque toujours obliquement par les deux flancs. Puisque tous ces prismes seront précisément de même grosseur à cause de l'égalité d'intervale qu'on met entre tous les plans tant horisontaux que verticaux, il est clair qu'on pourra les considérer, comme s'ils n'en formoient qu'un seul, & qu'il n'y aura qu'à multiplier le rectangle qui leur sert de grosseur, par la somme de toutes leurs longueurs, pour avoir tout d'un coup leur solidité totale. Si les plans horisontaux sont élevés les uns au-dessus des autres de trois pieds, & les plans verticaux perpendiculaires à la quille, éloignés les uns des autres de dix, les rectangles qui représenteront la grosseur de tous les prismes seront de 30 pieds quarrés. Ainsi la solidité de la carène sera le produit de ces 30 pieds par la somme de toutes les diverses largeurs du Vaisseau qui servent de longueur aux prismes. Plus la courbure des deux flancs du Vaisseau sera grande, plus il sera nécessaire de pousser loin la division, en augmentant le nombre des plans tant horisontaux que verticaux. La seule règle qu'il y aura à observer en cela, ce sera de rendre les parties de la surface de la carène assez petites, pour qu'elles soient sensiblement planes. Cependant je crois qu'il suffira presque toujours de partager la carène en trois ou quatre tranches horisontales de même épaisseur, & de la subdiviser ensuite par 8 ou 10 plans verticaux; de sorte qu'on ne sera gueres obligé pour avoir la longueur de tous les prismes & pour avoir ensuite leur solidité, que de mesurer la largeur du Navire en trente ou en quarante endroits. Lorsqu'il s'agira des plus grands Vaisseaux, on pourra diviser leur carène en cinq ou six tranches horisontales.

On a déjà vû la maniere de mesurer les largeurs sur un Plan, mais il n'y aura gueres plus de difficulté à les prendre sur le Vaisseau même, lorsqu'il sera construit & qu'il sera à sec dans un bassin. Il n'y aura qu'à mettre sur le Navire une piece de bois en travers ou perpendiculairement

à sa longueur , dont les deux extrémités sortent de chaque côté ; on y suspendra deux fils à plomb , dont on mesurera d'abord la distance , & on verra ensuite combien il s'en faut en chaque endroit que le Navire ne soit aussi large que les deux fils à plomb sont éloignés l'un de l'autre. On trouvera de cette sorte la largeur du Vaisseau en haut dans l'endroit où il est le plus gros. On prendra en même tems les autres largeurs dans les autres points plus bas , en laissant les fils à plomb dans la même situation ; & on transportera ensuite ces mêmes fils vers l'avant & vers l'arrière toujours à des distances égales , pour réitérer la même opération , & avoir les largeurs du Navire dans tous les autres plans verticaux. Ces largeurs feront , je le repete , les longueurs des prismes dans lesquels on a divisé la carène. On fera attention d'un autre côté que pour obtenir la solidité de chacun de ces prismes , il faut multiplier l'étendue de la coupe faite perpendiculairement à sa longueur , par sa longueur moyenne même , qui est égale au quart de la somme de ses quatre côtés. Ainsi pour avoir la solidité de tous les prismes ensemble , il faudroit multiplier l'étendue du rectangle qui représente leur grosseur par le quart de la somme de toutes les largeurs mesurées de la carène ; si ce n'est que la plus grande partie de ces largeurs servent de côtés à 4 prismes ; d'où il suit que le quart doit être repeté quatre fois , ou ce qui revient au même , que ces largeurs doivent être employées toutes entieres. Telles sont toutes celles qu'on peut nommer intérieures , parce qu'elles sont prises au-dedans du solide : d'autres qui sont extérieures , parce qu'elles se trouvent dans les plans extrêmes ou qui terminent le corps , servent de côtés à deux prismes ; ainsi leur quart doit être simplement repeté deux fois. Enfin il y a quatre largeurs qui sont à l'extrémité des plans extrêmes , lesquelles ne servent de côtés chaoue qu'à un seul prisme , & par conséquent leur quart ne doit être employé qu'une seule fois dans la somme qu'il faut multiplier par la grosseur des prismes.

On verra tout ceci plus clairement si on jette les yeux

sur la Figure 50, qui représente un Vaisseau projeté sur le plan vertical qui le coupe par la moitié dans le sens de sa longueur ou de la quille. Sa carène ou la partie qui doit enfoncer dans la Mer est partagée en quatre tranches horizontales, & elle est ensuite divisée par sept plans verticaux FB, GG, GG, &c. perpendiculaires à sa longueur. Je n'ai que faire d'avertir que les petits rectangles marqués dans la figure & qui sont tous égaux, sont les grosseurs des prismes qui résultent de la division de la carène, & qui ont pour longueurs ou pour côtés les largeurs du Navire mesurées vis-à-vis de tous les points H, G, &c. Or pour trouver la solidité de tous ces prismes à la fois ou du corps entier EFBC qu'ils forment ensemble, il n'y a qu'à multiplier, conformément à ce que nous venons de dire, l'étendue d'un seul rectangle HHHH par la somme qu'on fera des largeurs entières qui seront mesurées vis-à-vis de tous les points H, de la moitié de chacune des largeurs mesurées vis-à-vis des points G, & du quart des quatre qui seront prises vis-à-vis des points E, F, B & C. L'opération s'expedira de cette sorte avec une extrême promptitude par une seule multiplication pour la solidité de tous les prismes ou de tout le corps EFBC. On voit assez maintenant la cause de la distinction que nous mettons entre les largeurs qui servent ou à quatre prismes ou à deux, ou simplement à un seul. Il restera à ajouter au corps EFBC la solidité qu'on cherchera à part des prismes irréguliers, qui se trouveront aux deux extrémités de la carène en ABF & en DCE, à la poupe & à la proue. Comme il n'est pas possible de les joindre avec les autres pour en trouver la solidité tout d'un coup, on les réduira à d'autres prismes rectangulaires ou triangulaires qu'il sera toujours facile de mesurer à part.

Fig. 50.

III.

Troisième méthode de mesurer la Carène , en la partageant simplement par tranches.

On pourroit faire un usage continuel de la Méthode précédente , sans qu'il est utile dans diverses occasions de ne pas connoître seulement la solidité entière de la carène , mais aussi celle des parties que la carène plonge successivement dans l'eau , à mesure qu'on charge le Navire. Cette considération oblige de chercher séparément la solidité des tranches horizontales ; ce qui rendra l'opération numérique un peu plus longue , sans que néanmoins il soit nécessaire de mesurer un plus grand nombre de dimensions.

Fig. 51. Si ANHOA (Fig. 51.) représente la coupe horizontale de la carène faite à fleur d'eau , lorsque le Navire est entièrement chargé , & que toutes les largeurs ST , QR , &c. aient été mesurées , comme il est aisé de le faire , à des distances parfaitement égales les unes aux autres ; il n'y aura pour avoir l'étendue de tous les trapezes dans lesquelles cette surface est divisée , qu'à multiplier la distance AB ou BC d'une largeur à l'autre , par la somme qu'on fera de toutes les largeurs intermédiaires QR , OP , MN , &c. & de la moitié de la première & de la dernière.

Supposé que toute la longueur AH de la surface soit de 120 pieds , & qu'on ait divisé cette longueur en 6 parties égales par les largeurs qu'on aura mesurées , & qu'on aura trouvées de 18 pieds en ST ; de 23 en QR ; de 28 en OP ; de 30 en MN ; de 30 en KL ; de 21 en HI , & de zero en G. Faisant une somme des largeurs intermédiaires , & de la moitié des deux extrêmes , on aura 141 qu'il n'y aura qu'à multiplier par la distance AB ou BC d'une largeur à l'autre , qui est de 20 pieds , & il viendra 2820 pieds quarrés pour l'étendue requise de tous les trapezes , ou de la surface entière AMGN , qui fera exactement la

même, si l'on a été attentif à prendre un assez grand nombre de largeurs, pour que toutes les parties GH, HK, KM de son contour soient sensiblement des lignes droites. Rien n'est plus simple que cette pratique, & il est d'ailleurs facile de la justifier. Pour trouver l'étendue particulière de chaque trapeze, il faut multiplier la moitié des deux largeurs qui lui servent de côtés parallèles, par sa hauteur. Mais puisque tous les trapezes ont une égale hauteur, & que d'ailleurs chaque largeur sert de côté commun à deux trapezes, il est clair que pour trouver tout d'un coup la somme de leur étendue, il faut multiplier AB ou BC, non pas par la somme des moitiés des largeurs, mais par la somme des largeurs mêmes, excepté de la première & de la dernière, dont il ne faut employer que la seule moitié, parce qu'elles ne servent chacune de côté qu'à un seul trapeze.

Il est clair que ce moyen de trouver l'étendue des coupes horizontales de la carène peut s'appliquer également à toutes les surfaces planes, en mesurant plusieurs de leurs largeurs ou ordonnées à une égale distance les unes des autres. Nous pouvons même en élevant un peu nos vûes, quoique nous ne paroissions ici occupés que de Navires, ajouter que ce moyen pourra servir dans plusieurs rencontres, pour approcher sur le champ, & avec une extrême facilité de la valeur de toutes les intégrales qui ne contiennent qu'une seule variable. On n'a qu'à considérer l'intégrale générale $Sdz \times Z$, dans laquelle Z est une fonction quelconque de z, comme représentant l'aire d'une surface plane, dont z exprime les parties de l'axe ou de la longueur, pendant que la grandeur Z, quoique complexe & de plusieurs dimensions, exprime les largeurs ou les ordonnées. Après cela il n'y aura qu'à attribuer à z un assez grand nombre de diverses valeurs qui se surpassent également; chercher pour chacune la grandeur de Z, & multiplier la somme de toutes ces grandeurs, excepté de la première & de la dernière, dont on ne fera entrer dans la somme que la seule moitié, par la quan-

tité dont on a rendu plus grandes les unes que les autres , les diverses valeurs qu'on a attribuées à z . Cette Méthode que nous donnons pour ce qu'elle vaut , & que nous n'avons garde de comparer à d'autres Méthodes plus savantes , qui sont entre les mains des Géomètres * , n'est pas bornée à la seule intégrale $Sdz \times Z$; on peut l'appliquer avec le même succès à toutes les autres , comme $SdzSdzZ$, qui ne contiennent toujours qu'une seule variable , ou qui en contiennent plusieurs , dont on connoît la relation.

* Voyez les petits Traités de *methodo differentiali* de Mrs Newton & Roger Coates , &c.

Fig. 50.

Mais pour revenir à notre sujet , aussi-tôt qu'on a trouvé de la même manière , non-seulement l'étendue de la plus haute coupe horizontale de la carène , mais de toutes les autres qui passent par les lignes LO , KN , &c. (Fig. 50.) il suffira pour avoir la solidité de chaque tranche horizontale comprises entre deux coupes , de prendre la moitié de la somme de ces mêmes coupes , & de la multiplier par la distance verticale de l'une à l'autre , qui forme l'épaisseur de la tranche. On fera la même chose pour toutes les autres , & on les ajoutera ensuite successivement en commençant par en bas , pour avoir la solidité des diverses parties de la carène , qui s'enfoncent dans l'eau à mesure qu'on augmente le poids de la charge. Nous montrerons dans la suite que cette Méthode de trouver la solidité de chaque tranche , en multipliant son épaisseur par la moitié des deux coupes horizontales entre lesquelles elle est comprise , est aussi exacte qu'il est nécessaire dans la pratique : nous croyons même qu'elle sera applicable à la partie la plus basse de la carène ; parce que si l'erreur qu'on commet dans cette dernière mesure , est considérable , par rapport au peu de grandeur de cette partie , elle devient toujours comme insensible , lorsqu'elle est répandue sur toute la carène. Si l'on croyoit devoir au reste pousser la précision plus loin , on le pourroit faire par le moyen suivant.

Ce seroit de diviser cette partie inférieure en plusieurs troncs par des plans verticaux perpendiculaires à la quille , & également éloignés les uns des autres. Ces

plans verticaux qui sépareroient les troncs, auroient vers le milieu du Vaisseau la forme MNOP (Fig. 52.) à cause du plat OP des varangues, & elles auroient vers la prouë & vers la poupe une forme qui approcheroit de la triangulaire. On trouveroit aisément la superficie des unes & des autres, & il n'y auroit en tout cas qu'à les partager par des lignes verticales également éloignées les unes des autres, en plusieurs trapezes, dont on trouveroit l'étendue tout-à-la-fois, comme nous l'avons expliqué. Enfin la surface de tous les plans, ou de toutes les coupes verticales MNOP, étant découvertes, il ne seroit pas nécessaire de s'arrêter à chercher la solidité particulière de chaque tronc intercepté, puisqu'on n'en a pas besoin. On trouveroit leur solidité à tous, ou ce qui revient au même, la solidité de toute la tranche inférieure de la carène dont il s'agit, en faisant une somme de l'étendue de tous les plans verticaux intermédiaires MNOP, & de la moitié des deux extrêmes qui se réduisent presque à rien, & en multipliant cette somme par la seule distance d'un plan à l'autre.

Fig. 52.

I V.

De l'Echelle des solidités ou des pesanteurs des diverses parties de la Carène.

Si l'on n'a divisé la carène qu'en quatre tranches horizontales, comme il suffira ordinairement de le faire, si ce n'est que pour les plus grands Vaisseaux, on poussera la division plus loin, on n'aura, en ajoutant successivement ces tranches les unes aux autres, que la solidité des quatre parties ICBM, KCBN, LCBO & DCBA (Fig. 50.) qui se plongent successivement dans la Mer, à mesure qu'on augmente le poids du Navire. Mais il ne sera pas difficile, en suposant que les coupes horizontales qui sont entre deux autres qu'on a mesurées actuellement, sont en progression Arithmétique, de trouver la solidité de toutes les portions de la carène qu'on voudra : & on pourra

Fig. 50.

Fig. 50.

ensuite les marquer, si on le veut, dans le plan qui représente le Vaisseau coupé verticalement selon sa longueur, sur une échelle qu'on tracera vers son milieu en PT. Je veux dire qu'on marquera en Q, en R, en S, &c. la solidité des parties correspondantes de la carène qui sont au-dessous, ou des parties ICBM, KCBN, &c. Au lieu de marquer ces solidités en pieds cubiques, on pourra le faire, pour une plus grande commodité, en tonneaux, en attribuant 28 pieds à chaque tonneau; & alors on sçaura par la seule inspection du plan, de combien doit être la pesanteur du Vaisseau pour qu'il plonge jusqu'à chaque point Q ou R. On confond souvent ici les parties submergées de la carène, & les pesanteurs qu'a le Vaisseau dans ses differens états; parce qu'on suppose que le Lecteur se souvient toujours que les parties submergées sont les *exposans* des diverses pesanteurs du Navire, égales au poids du volume d'eau que chasse la partie submergée.

Il faut remarquer qu'on ne peut pas placer cette échelle PT des pesanteurs, indistinctement par tout; parce que le poids du Vaisseau & de la charge étant le même, mais la distribution differente, la carène peut caler plus ou moins vers la prouë ou vers la poupe; au lieu que l'enfoncement est toujours sensiblement le même vers le milieu. En effet, la partie submergée doit être de même grandeur, tant que le poids total ne change pas: si une des extrémités de la carène s'enfonce davantage dans la Mer, il faut nécessairement que l'autre extrémité s'élève en même tems; mais il est un point vers le milieu qui ne souffre aucun changement. Ce point est à très-peu près le centre de gravité de chaque coupe horisontale, comme il seroit facile de le démontrer. Ainsi l'échelle des pesanteurs, au lieu d'être une ligne droite, doit être une ligne courbe, qui vû l'état présent de la construction, doit avancer un peu vers la poupe, à mesure qu'on la prolonge en haut. Cependant comme il ne s'en faut gueres que les centres de gravité de toutes les coupes horisontales, ne soient les unes au-dessus des autres, sans doute qu'il ne résultera jamais aucune erreur de la

la situation de l'échelle , quoique droite , & quoique placée verticalement ; pourvû qu'on la fasse passer à peu de distance du centre de gravité de toute la carène.

CHAPITRE III.

Du changement que reçoit l'enfoncement de la Carène , lorsqu'on ajoute au Navire quelque partie , ou qu'on la retranche , &c.

I.

ON verra par la suite les divers usages qu'auront toutes les mesures qu'on vient de prescrire : mais on insistera dès-ici sur les premiers qui se présentent , & qui regardent les Navires déjà construits. On aura peut-être de la peine à croire qu'on fait tous les jours des changemens très-considérables sur des Vaisseaux , comme de retrancher un pont , ou de l'ajouter , de *souffler* toute la carène , c'est-à-dire de la renfler par de nouveaux bordages ; sans se mettre en peine de connoître d'avance l'effet précis qui doit en résulter. On s'en rapporte sur cela à la pratique du Constructeur , qui n'en juge qu'à peu près par des changemens semblables qu'il a vû faire sur d'autres Navires : pendant qu'il est des moyens surs de prononcer dans toutes ces matieres , & d'agir avec pleine connoissance de causes.

Il est facile , comme nous le disons , de prononcer sur toutes ces choses , en les discutant avec un peu de soin. S'il s'agit , par exemple , de raser un Vaisseau du premier rang , de 48 pieds de largeur , trop chargé du propre poids de ses parties supérieures , on peut supputer la pesanteur du pont & des dunettes qu'on veut retrancher. Le calcul ne sera ni long ni difficile ; nous entreprendrons

Ee

dans le même genre une opération beaucoup plus pénible, lorsque nous chercherons la pesanteur de toutes les parties qui forment le Vaisseau. On sçait la longueur des baux & leur grosseur, celles des courbes, l'épaisseur & la longueur des bordages, & la quantité de fer qui entre dans le pont : il n'en faut pas davantage pour trouver la pesanteur du tout. Cette pesanteur, si on se bornoit à ne retrancher que le pont, feroit d'environ 420000 livres, ou 210 tonneaux; mais ce retranchement en entraîne beaucoup d'autres. Il cause d'abord une diminution considérable dans le nombre des canons; & outre cela on ne peut gueres se dispenser de faire divers retranchemens aux dunettes. Du côté de l'Artillerie le retranchement fera de 70 ou 80 tonneaux; mais je suppose que la diminution totale est de 350 tonneaux : c'est ce dont on pourra toujours s'assurer. Ainsi il ne reste plus qu'à trouver combien le retranchement de ce poids, doit faire élever le Vaisseau, ou le faire sortir de la Mer.

On le sçaura d'avance, si on a suputé, comme nous l'avons expliqué dans le Chapitre précédent, la solidité de toutes les parties de la carène; & sur-tout si on a entre les mains un plan exact, sur lequel *l'Echelle des pesanteurs* soit tracée. Il n'y aura qu'à voir combien de pouces ou de pieds d'enfoncement répondent à 350 tonneaux, ou à 9800 pieds cubiques, produit de 350 par 28. Si on n'a point de pareil plan, il n'y aura qu'à mesurer l'étendue de la coupe horizontale de la carène faite à fleur d'eau, & chercher combien la tranche ou le corps plat qui a cette étendue pour base, doit avoir d'épaisseur, pour être de 9800 pieds cubiques. Supposé que l'étendue de la coupe horizontale soit de 6900 pieds quarrés, on divisera les 9800 pieds cubiques que doit avoir le solide qui sort de l'eau par les 6900 pieds quarrés qui servent de base; & il viendra au quotient un peu moins de 1 pied 5 pouces pour la hauteur du corps plat; ce qui apprendra la quantité dont le Vaisseau doit s'élever de l'eau par le retranchement proposé. Il faut remarquer qu'une élévation de 1 pied 5 pouces est une

quantité très-considérable , & qu'il n'en faut souvent pas tant, faisant même abstraction du changement avantageux que souffre en même tems le centre de gravité qui descend beaucoup , pour qu'un Vaisseau mal construit, qui devoit servir de triste & de perpétuel ornement dans un Port , devienne très-propre à la Navigation.

Lorsqu'on prend pour la solidité de cette tranche de la carène qui s'élève de l'eau , le produit de l'étendue 6900 pieds quarrés de la base , ou de la coupe faite à fleur d'eau , par son épaisseur 1 pied 5 pouces , on ne peut pas commettre d'erreur sensible. S'il est vrai que les autres coupes horizontales au-dessous sont un peu plus petites, la différence n'est jamais assez considérable pour qu'on soit tenu dans la pratique d'y avoir égard; il est toujours permis de considérer le solide dont il s'agit , comme s'il étoit cylindrique. On pourra , comme il est évident, prévoir de la même manière l'effet que doit produire , non pas le retranchement , mais l'addition d'un nouveau pont, d'une dunette , &c.

II.

Il y aura un peu plus de peine à déterminer ce qui doit arriver lorsqu'on *souffle* le Vaisseau ; & cela principalement, parce qu'il n'est pas tout-à-fait si aisé de trouver l'étendue de la superficie convexe de la carène. Si dans l'opération *du soufflage* on s'attachoit à donner toujours à la carène une figure semblable , ou si on augmentoit toutes les dimensions proportionnellement ; alors presque toute la difficulté cesseroit. Les solidités de la carène dans les deux états, étant comme les cubes de quelqu'un des côtés , la différence seroit comme la différence des cubes ; ainsi elle seroit toujours connue aisément , & on sçauroit par conséquent combien la poussée verticale de l'eau auroit plus de force pour soutenir le Navire. Pour trouver cet excès presque tout d'un coup dans cette supposition , il n'y a qu'à se ressouvenir que si on augmente le côté x d'un cube x^3 d'une très-petite quantité dx , le cube se trouvera augmen-

E e ij

té de $3x^2dx$, ou de trois fois le solide formé par le quarré du côté & par la petite augmentation; parce qu'on peut négliger les autres parties de l'accroissement. Mais x^3 étant à $3x^2dx$ comme x est à $3dx$, il s'ensuit qu'on peut dans le cas présent, faire cette analogie; la largeur qu'avoit d'abord la carène, est à la premiere solidité, ou à la poussée verticale de l'eau, comme le triple de la petite quantité dont on a augmenté la largeur, est à l'augmentation de la solidité, ou de la force de la poussée verticale de l'eau. Si dans le Vaisseau du premier rang dont nous avons parlé, on augmente de 6 pouces la largeur qui est de 48 pieds, & qu'on augmente la longueur & les autres dimensions à proportion, on aura cette analogie, 48 pieds sont à la force 3300 tonneaux qu'avoit d'abord la poussée de l'eau, comme $1\frac{1}{2}$ pied qui est le triple de 6 pouces, est à un peu plus de 103 tonneaux pour l'augmentation que reçoit cette force. Le Navire seroit par conséquent soulevé de cette quantité, sans qu'il faut rabatre de ces 103 tonneaux la pesanteur même du bois qu'il faut employer pour le *souffler*. Comme cette pesanteur sera au moins de 60 tonneaux, on ne gagnera tout au plus que 43 tonneaux; & puisqu'une diminution de 350 tonneaux n'a fait soulever le Navire que de 1 pied 5 pouces, celle-ci ne le fera gueres sortir de l'eau que de 2 pouces.

III.

Mais outre qu'il est difficile que les Constructeurs s'assujettissent à conserver la même figure à la carène, il est quelquefois à propos de l'alterer. C'est ce qui nous fait croire qu'il faut absolument se résoudre à mesurer l'étendue de la surface convexe, qu'on multipliera par l'épaisseur *du soufflage*, pour en avoir la solidité. On mesurera la surface convexe de la carène en la partageant en plusieurs zones, dont on trouvera l'étendue séparément. Pour mesurer chaque zone, on la considérera comme un trapeze

courbe , selon le contour qu'ont les varangues ; on prendra avec une ficelle la longueur qu'ont les deux côtés du trapeze qui seront presque paralleles , & qui ne seront autre chose que le contour du Vaisseau pris dans le sens de sa largeur : la moitié de la somme sera sa longueur moyenne , & il n'y aura qu'à la multiplier par la largeur moyenne de la zone. Peut-être sera-t-il permis aussi dans cette recherche , de regarder la carène comme un corps géométrique , afin d'expédier l'opération plus aisément. On a vu qu'on ne peut pas traiter la carène comme un corps géométrique , lorsqu'il s'agit d'en trouver la solidité ; mais ici le cas est différent. Pour peu qu'on attribue plus ou moins de courbure à la surface , ou à une partie de la surface qui environne un corps , on augmente ou on diminue beaucoup la solidité ; au lieu que l'étendue de la surface ne change gueres , ou ne change peut-être pas.

La surface convexe à laquelle on peut comparer plus naturellement celle de la carène , est celle d'un sphéroïde formé par la révolution , ou plutôt par la demi-révolution d'une ellipse autour de son grand axe. La Géométrie nouvelle nous a appris que si l'on forme un quart de cercle qui ait la moitié du grand axe pour rayon , & qu'on prenne dans ce quart de cercle un segment compris entre un des rayons & un sinus parallele , égal à la moitié du petit axe du sphéroïde , il y aura même rapport entre le sinus de complement qui sert de largeur au segment , & la circonférence du cercle qui a pour rayon la moitié du petit axe , qu'entre l'étendue du segment du quart de cercle , & la surface du demi-sphéroïde. Cette seule analogie exige une assez longue opération ; parce qu'il faut , entr'autres choses , connoître l'étendue du segment du quart de cercle ; & il seroit à propos d'épargner cette peine aux Constructeurs , ou aux personnes attachées à l'Architecture Navale. On ne peut , ce semble , rien faire de mieux que d'entreprendre le calcul d'avance pour un certain Vaisseau ; parce qu'il n'y aura plus ensuite qu'une simple proportion à

faire pour tous les autres. Si on exprime par 325 le grand axe ou la longueur de la carène , & par 100 le petit axe ou la largeur , conformément au rapport qui s'observe le plus ordinairement , on trouvera 41641 pour la surface du demi-sphéroïde ou de la carène. Il est vrai que le rapport de 325 à 100 n'aura pas lieu dans tous les Vaisseaux ; mais on sauvera la plus grande partie de l'erreur qui peut naître de la différence , en comparant la surface 41641 , non pas avec le quarré de la longueur ou de la largeur ; car on se tromperoit extrêmement toutes les fois que le sphéroïde n'auroit pas une figure semblable ; mais avec le rectangle 32500 des deux dimensions l'une par l'autre. Ce léger détour sera cause que lorsque les Navires auront plus ou moins de largeur par rapport à leur longueur , le rectangle de ces deux dimensions sera plus ou moins grand ; & on trouvera aussi pour la superficie de la carène des étendues différentes.

La surface 41641 du demi-Sphéroïde est au rectangle 32500 de ses deux axes comme 128 est à 100. Ainsi pour appliquer cette méthode à un Navire proposé , il n'y aura qu'à faire cette seule analogie ; 100 est à 128 comme le rectangle de la longueur par la largeur , est à l'étendue requise de la superficie convexe de la carène. Il y aura encore cette précaution à observer , lorsque la profondeur de la carène ne sera pas la moitié de la plus grande largeur. On prendra la moitié de cette largeur qu'on ajoutera à la profondeur , & ce sera cette somme qui sera pour ainsi dire la largeur moyenne , qu'on multipliera par la longueur , pour avoir le rectangle , dont le rapport avec la superficie convexe de la carène , est exprimé par 100 & 128.

La surface de la carène étant trouvée , il n'y aura plus qu'à la multiplier par l'épaisseur qu'on se propose de donner au *soufflage* ; & on sçaura combien le Navire doit déplacer d'eau davantage , & de combien par conséquent la poussée verticale de la Mer sera plus forte. Si le soufflage n'est pas par tout également épais , on prendra son épaisseur moyenne. Enfin pour découvrir l'avantage réel ,

ou ce qu'il y a effectivement à gagner, il faudra, ainsi qu'on en a déjà averti, retrancher la pesanteur même du bois ajouté. Comme cette pesanteur est très-considérable, elle diminuë beaucoup de l'effet du soufflage, au moins de ce premier effet dont il s'agit maintenant. C'est ce qui oblige quelquefois de ne pas apliquer les nouveaux bordages sur les anciens, mais de les appuyer sur des tringles courbes; & c'est ce qu'on appelle *souffler sur taquets*.

Si, pour ne pas changer d'exemple, nous supposons qu'on grossisse ou qu'on enfle d'un pied chaque endroit de la carène du Vaisseau du premier rang de 48 pieds de largeur, on trouvera par l'analogie déjà expliquée, que la surface de la carène sera d'environ 9592 pieds quarrés, lesquels étant multipliés par un pied, donnent 9592 pieds cubiques pour l'espace que la carène occupera de plus dans la Mer; & la poussée verticale de l'eau sera donc plus grande d'environ 342 tonneaux. Je crois que le bois nécessaire pour ce soufflage, pesera au moins 170 tonneaux; car en ne donnant aux nouveaux bordages que 3 pouces d'épaisseur, il en faudra 2398 pieds cubiques, qui pèseront 47 ou 48 tonneaux, s'ils ne sont que de sapin: mais les taquets, ou les especes de membres qu'il faudra mettre au-dessous, & qui auront 9 pouces d'épaisseur, pèseront au moins trois fois plus, sans compter encore le poids de tout le fer qu'il faudra employer. On s'en rapporte sur cela aux Constructeurs, comme sur toutes les autres choses qui sont absolument de leur ressort. Quoiqu'il en soit, le soufflage excessif d'un pied ne soulagera tout au plus le vaisseau que de 170 tonneaux. Le Navire poussé en haut avec cette force, s'élèvera ensuite d'une quantité plus ou moins grande, qui dépendra de l'étendue de la coupe horison-tale de la carène, faite à fleur d'eau: plus cette étendue sera grande, moins il sera nécessaire, comme il est évident, que le Navire s'élève. On a déjà vû ci-devant qu'une diminution de 350 tonneaux dans le poids, faisoit que le Vaisseau sortoit de l'eau d'environ 1 pied 5 pouces; ainsi les 170 tonneaux dont le Navire est actuellement

poussé en haut avec plus de force , le feroient seulement élever d'un peu plus de 8 pouces. On doit faire attention que si nous avons supposé pour la facilité des calculs , que la pesanteur particuliere de la charge ou de lest , étoit toujours la même , rien ne nous ôte la liberté de la changer. On a gagné 8 pouces par le renflement de la carène ; c'est une ressource dont on peut ensuite disposer , & avec laquelle on viendra souvent à bout de satisfaire à d'autres vûes , que ce n'est pas encore ici le lieu d'expliquer.

IV.

Il ne nous reste plus qu'à terminer ces détails de pratique par une remarque qui y tient trop naturellement , pour différer d'en parler. On pense ordinairement que le *soufflage* rend les Vaisseaux trop pesants , & les empêche de marcher ; ils sont ensuite chargés , dit-on , d'une quantité prodigieuse de bois & de fer , qui ne doit prendre du mouvement qu'avec difficulté. Il est vrai qu'en grossissant la prouë , on augmente ordinairement la résistance qu'elle trouve à fendre l'eau , & qu'on peut ralentir la vitesse du sillage , si on n'a pas le soin d'élargir un peu les voiles en même tems. Mais à l'égard de la plus grande pesanteur , on peut assurer qu'elle ne fait rien à la marche , & qu'elle n'y apporteroit pas la moindre difference , quand même on l'augmenteroit encore deux ou trois fois plus : on seroit seulement obligé de mettre ensuite moins de charge ou de lest dans la cale. Si l'on se bernoit à dire que c'est un désavantage pour un Navire de transport , que d'être déjà chargé du poids de ses propres matériaux , nous ne pourrions pas nous empêcher d'en convenir. Mais qu'importe-t-il dans un Vaisseau de Guerre , ou dans une Frégate faite exprès pour la course , que la pesanteur particuliere de la carène , ou que le poids étranger du lest qu'on ne met que pour y suppléer , fasse une plus grande ou une moindre partie du poids total , qui est toujours le même ? Nous sommes donc bien éloignés d'approuver l'usage où l'on est , d'épargner extrêmement le bois dans la carène des Corvettes

vettes & des Frégates , auxquelles on veut donner l'avantage de bien singler. Sous prétexte de les rendre plus légères , & de leur conserver peut-être leur nom * , on donne très-peu d'épaisseur à leurs bordages ; & en même tems qu'on diminue de la grosseur de leurs membres , on en diminue le nombre : tout cela produit une foiblesse dans l'assemblage du tout , qui ne peut pas manquer de devenir souvent funeste. Il faut remarquer au surplus que ce qu'on dit ici , ne regarde que la partie qui entre dans l'eau : les raisons précédentes ne vont qu'à cela ; & à l'égard des parties supérieures , il faut toujours en diminuer le poids le plus qu'on peut.

* Frégates
légères.

CHAPITRE IV.

Du Jaugeage des Vaisseaux , & premierement de celui qui se fait en tonneaux d'Arrimage ou de volume.

I.

NOUS avons comme résolu d'avance la question du jaugeage qui est très-importante pour le Commerce , & qui appartient aussi à notre sujet. On a répandu sur cette matiere une si grande obscurité , que si on excepte le petit nombre de Géomètres qui se sont trouvés du tems en tems dans la Marine , on peut assurer que personne n'y a attaché d'idée distincte. On demande tous les jours de combien est le port d'un Vaisseau , ou de combien de tonneaux il est ; les Marins & les Négocians font continuellement cette question , pendant que les Constructeurs & les Jaugeurs s'empressent d'employer divers moyens pour la résoudre : Mais il reste presque toujours à sçavoir , aussi-bien aux uns qu'aux autres , si le tonneau dont ils se servent pour exprimer la grandeur du Navire , est un poids ou une mesure simplement étendue : car presque

tous dans cette rencontre , confondent l'espace & la pesanteur , quoique de natures si différentes. On connoît en effet deux sortes de tonneaux : Le premier , dont on a déjà parlé , n'est autre chose que le poids de deux mille livres , & le second , qu'on nomme tonneau *d'Arrimage* , pour le distinguer , est l'espace qu'occupent quatre barriques , ordinairement de celles dont on se sert à Bordeaux , pour mettre le vin. Quelques Navires peuvent porter autant de tonneaux *de poids* ou *de port* , c'est-à-dire de fois 2000 liv. qu'ils peuvent contenir dans leur cale de tonneaux *d'Arrimage* , ou contenir de fois l'espace de quatre barriques ; d'autres , & particulièrement les plus petits , portent plus de tonneaux de poids , qu'ils ne peuvent contenir de tonneaux d'arrimage : au lieu que c'est tout le contraire dans les grands Bâtimens , & principalement dans les Vaisseaux proprement dits. Cependant on se sert presque toujours des mêmes méthodes pour jager les uns & les autres ; & cela le plus souvent , comme on vient de le dire , sans sçavoir de quelle espece de tonneaux il s'agit.

Il ne convenoit pas à la dignité de l'Ordonnance de la Marine de 1681 , qu'elle descendît dans un plus grand détail sur ce sujet. Elle s'est contentée d'assigner 42 pieds cubiques au tonneau ; ce que plusieurs personnes ont regardé comme un argument incontestable , qu'il s'agissoit donc principalement dans ce Problème de tonneaux d'arrimage , ou qui ne sont qu'étendus ; de sorte qu'on a prétendus que l'opération du jaugeage n'étoit qu'une pratique de pure Géométrie , sans nulle raport à l'Hydrostatique , ni au poids de la charge. C'étoit au Commentateur à lever la difficulté , & à dissiper le doute ; s'il n'eût pas été aussi peu initié qu'il l'étoit , dans les matieres exactes telles que la Géométrie. L'Ordonnance veut que tout jaugeage dans lequel on ne se trompe que d'une quarantième partie , soit réputé bon ; c'est-à-dire qu'une erreur d'un tonneau sur quarante , ou de deux sur 80 , ou de $2\frac{1}{2}$ sur 100 , doit être tolérée. Rien n'est plus sage que cette disposition , pour arrêter le cours à une infinité de

disputes ; & pour obliger en même tems les Jaugeurs à apporter dans leur opération une assez grande précision. Ces vûes ont échapé au Commentateur qui prétend , ce qu'on auroit de la peine à croire , que l'intention de la Loy est de permettre aux Jaugeurs les méprises mêmes , qui seroient , non pas de $2\frac{1}{2}$ tonneaux , mais de 40 sur 100. Erreur monstrueuse , dans laquelle il n'est pas même possible de tomber , lorsqu'on a quelque usage de la Marine , & qu'on juge de la grandeur d'un Navire par la seule estime ! Tout ce qu'on peut donc faire de mieux dans la circonstance présente , est de discuter la question dans les deux divers sens dont elle est susceptible ; de la résoudre en prenant le tonneau , soit pour une mesure étendue , soit pour une mesure pesante. Cependant on s'attachera principalement aux moyens de trouver les Tonneaux *de poids* ou *de port* , parce qu'il n'est pas douteux que ce ne soient ceux qu'on doit le plus autoriser dans l'usage ordinaire. Outre que ce n'est pas par leur étendue , mais par leur poids que les marchandises chargent un Vaisseau en le faisant caler , il est certain qu'on en connoît bien mieux la quantité par la pesanteur que par le volume , qui ne peut presque jamais être mesuré que grossièrement ; à cause des vuides qui se trouvent toujours , malgré la perfection de *l'arrimage* , & auxquels on ne peut pas avoir égard.

II.

Trouver la grandeur des Vaisseaux en tonneaux d'Arrimage.

Aussi-tôt qu'on prend le tonneau pour une mesure étendue , la question du jaugeage ne se réduit qu'à la mesure de la capacité intérieure de la cale , qui est destinée à recevoir la charge. Cette mesure ne sera pas plus difficile que celle de la carène qu'on a déjà expliquée. On divisera la cale en plusieurs prismes par des plans horisontaux & verticaux ; ou bien on se contentera , si on le veut , de la partager en plusieurs tranches par les seuls plans horisontaux. On trouvera l'aire ou l'étendue de ces plans en

mesurant leur largeur en plusieurs endroits à une égale distance les uns des autres ; & aussi-tôt qu'on aura trouvé l'étendue de tous ces plans , il n'y aura plus , comme on l'a vû ci-devant , qu'à les ajouter deux à deux , & multiplier la moitié de leur somme par leur distance verticale , pour avoir la solidité de la tranche qu'ils interceptent ; & enfin la somme de toutes les tranches donnera la capacité requise. C'est naturellement par dans le Navire qu'on doit exécuter cette espece de jaugeage ; puisqu'il s'agit de connoître un espace intérieur. On peut néanmoins l'exécuter aussi par dehors en cas de besoin , en retranchant l'épaisseur toujours assez connue des membres & des bordages qui forment les flancs de la carène.

Les Jaugeurs , au lieu de partager la cale en un très-grand nombre de parties , se contentent pour l'ordinaire de prendre un assez petit nombre de dimensions. Ceux qui en prennent le plus , mesurent en pieds & en pouces la profondeur de la cale en trois endroits , au milieu & aux deux extrémités ; sçavoir au pied du mât de mizaine , & à huit ou neuf pieds de distance de l'étambot , & faisant une somme de ces trois profondeurs , ils en prennent le tiers , ce qui leur donne une profondeur moyenne ou *réduite*. Les largeurs , ils les mesurent aussi dans les mêmes endroits ; mais en chaque endroit ils en prennent trois , l'une en haut au-dessous des baux , où elle est la plus grande ; l'autre au milieu , & la troisième tout-à-fait en bas , proche la carlingue. Par le moyen de ces trois largeurs mesurées au milieu & aux deux extrémités du Navire , ils trouvent trois largeurs *réduites* , qu'ils réduisent ensuite en une seule , en les ajoutant ensemble , & en prenant le tiers , ce qu'ils peuvent faire aussi en joignant ensemble les neuf premières largeurs , & en prenant la neuvième partie du tout. Enfin ils multiplient , comme il est clair qu'ils le doivent faire , la dernière largeur réduite par la profondeur aussi réduite , & le produit par toute la longueur de la cale , ce qui leur donne à peu près la capacité qu'ils cherchoient

Il ne leur reste plus après cela qu'à convenir de la juste étendue du tonneau, pour pouvoir réduire la capacité qu'on ne connoît qu'en pieds cubiques. Supposé que cette capacité soit de 10000 pieds, & que le tonneau soit déterminé à 42, comme on le prétend ordinairement, le Navire sera de 288 tonneaux: Mais comme il ne paroît pas que l'Ordonnance ait eu en vûe de rien statuer sur le jaugeage intérieur, on ne doit donner aucune préférence à cette détermination. Ce qui nous le persuade, c'est non-seulement que l'espace qu'occupent 4 barriques, & qu'on a toujours pris pour le tonneau d'Arrimage, est considérablement plus grand que 42 pieds, ce qui étoit trop facile à reconnoître, pour que les Experts consultés pussent s'y tromper; c'est encore le témoignage de tous ceux qui ont écrit avant ou depuis l'Ordonnance sur les matieres qui ont raport à ce sujet. Tous ne parlent que du tonneau de poids, ou font entendre qu'il ne s'agit que de celui-là*: de sorte que l'autre, s'il est permis de parler de la sorte, n'est connu que par une espèce de tradition orale. Dans le petit Dictionnaire même qui est à la fin de l'Ordonnance, & qui n'est pas sans doute de la main du Commentateur, on ne prend le tonneau que pour un poids: on montrera d'ailleurs le raport secret que peut avoir le volume de 42 pieds cubiques avec la pesanteur de 2000 livres. Mais que prendre donc pour le volume précis du tonneau d'Arrimage? Il faut avouer qu'il se trouve une assez grande difficulté à lui assigner une juste étendue. Car outre que les barriques sont de différentes grandeurs dans toutes nos Provinces Maritimes, les mêmes barriques occupent plus ou moins de place selon la diverse forme des Navires, & selon aussi la commensurabilité ou l'incommensurabilité qui se trouve, entre leurs dimensions & celles de la cale. Tout cela fait que les vuides se trouvent différemment distribués, & plus ou moins grands; de sorte qu'il s'en faut assez que le nombre des barriques ou des tonneaux qui entrent dans deux différens espaces, soit proportionel à l'étendue de ces espaces. Quelquefois quatre

* Voyez le P. Fournier Livre XVII. de son Hydrographie.

Daffié Architecte Navale.

Aubin Dictionnaire de la Marine.

Moitret de Blainville, Traité du Jaugeage.

Savari Dictionnaire du Commerce.

Robbe Traité de Navigation.

Desroches Dictionnaire de la Marine, &c.

bariques n'occupent que 46 ou 47 pieds, & quelques autres fois 48 ou 50 & même 51. Or si l'on joint à la différence que cela doit apporter, les erreurs, je ne dis pas que commettent les Jaugeurs par leur méthode grossière de mesurer la cale, mais les erreurs mêmes qui sont inévitables, on conviendra qu'il est moralement impossible de perfectionner assez cette espèce de jaugeage, pour que l'erreur totale qu'on doit craindre, soit renfermée dans les limites étroites, établies par l'Ordonnance.

Puisque le tonneau d'Arrimage n'est pas assez déterminé par lui même, & ne peut pas même l'être, il n'y a qu'une autorité supérieure, celle du Législateur, qui puisse, en méprisant les inconvéniens particuliers, le fixer à une certaine étendue. Mais si l'on veut toujours lui conserver quelque rapport avec l'espace qu'occupent quatre bariques, afin de ne pas renverser toutes les idées que les Marins se sont faites sur ce sujet, il ne faut pas se contenter de le faire de 42 pieds, il faut le faire au moins de 48 ou de 49. C'est cet espace que remplissent ordinairement quatre bariques dans les Bâtimens de transport, qui sont les plus commodes pour l'arrimage. La barique de vin de Bordeaux a 2 pieds 1 pouce de diamètre, & 2 pieds $9\frac{1}{2}$ pouces de longueur. Or 50 de ces bariques distribuées en 5 rangs l'un sur l'autre, occupent, en y comprenant les vuides, un espace de presque 606 pieds cubiques, ce qui donne au tonneau d'arrimage environ $48\frac{1}{2}$ pieds. Cette détermination n'est bonne que pour le milieu du Navire; & cela encore, lorsque la largeur & la profondeur contiennent un certain nombre de fois le diamètre de la barique; car il arrive souvent que des Bâtimens médiocres eussent portés deux cens bariques de plus, s'ils eussent eu leur profondeur seulement plus grande de deux ou trois pouces. Vers la prouë & vers la poupe, l'arrangement sera encore plus difficile; on y perdra par conséquent beaucoup plus par les vuides: & on doit même toujours se souvenir qu'il est comme impossible de rien mettre en avant du pied du mât de misaine, de même que dans un espace irrégulier vers la poupe, qui

se termine à l'étambot, & qui peut avoir 7 ou 8 pieds de long dans les Navires médiocres.

Mais après avoir tout considéré, on ne croit pas qu'il résultât aucun avantage d'une nouvelle détermination du tonneau. Si le Vaisseau doit être chargé de choses très-pesantes, comme de marbre, de fer, &c. sa charge n'occupera qu'une très-petite partie de sa cale; de sorte qu'il ne servira de rien d'en connoître alors la capacité totale. Ce n'est pas dans ce seul cas que le jaugeage intérieur devient inutile; c'est même dans le cas tout opposé, quoique plus ordinaire. Toutes les fois qu'on se propose de charger le Navire de marchandises legeres, comme de vin, d'eau-de-vie, d'huiles, &c. il faut nécessairement mettre au-dessous une certaine quantité de *lest*, c'est-à-dire un certain poids qui n'est pas réputé charge, & qui ne sert qu'à donner au Navire la force de se soutenir, à cause de la figure qu'on donne à sa carène. Or l'espace qu'occupe ce *lest*, & qui est plus ou moins grand, selon la matiere dont il est formé, & aussi selon la pesanteur spécifique des marchandises, est à retrancher de l'espace qu'on emploie utilement. Ainsi on voit que l'expression de la grandeur du vaisseau en tonneaux d'arrimage, n'est non-seulement jamais bien exacte, mais qu'elle ne peut donner aussi qu'une notion peu distincte de la quantité actuelle de la charge.

III.

Maniere de régler le droit d'Ancrage, & les autres droits de même espece.

Le seul cas où il paroît qu'on puisse employer cette espece de jaugeage, & encore avec quelque modification; c'est lorsqu'il s'agit de régler le droit d'ancrage, & tous les autres droits que payent les Navires pour la réparation & l'entretien des bassins dans lesquels ils entrent; parce que ces droits ne dépendent ni de la quantité ni de la nature des marchandises, & qu'ils sont les mêmes, lorsque le Navire est vuide, que lorsqu'il est chargé. Alors il n'est

certainement question que de l'espace que le Bâtiment occupe dans le Port, ou qu'il y embarrasse; & comme la capacité intérieure de la cale est à peu près égale à la solidité de la carène, on pourroit prendre l'une pour l'autre. Cependant je crois qu'on peut rendre la chose encore beaucoup plus simple, & moins sujette à toute contestation, en considérant que c'est principalement par en haut que le Navire occupe de la place dans le Port; & que l'embarras qu'il cause, est précisément le même, soit qu'il soit construit à plates varangues, ou qu'il ait les plus grandes façons. Ainsi sans entrer dans le détail de la figure de sa carène, ni sans examiner si elle est grande ou petite à proportion du reste, il suffiroit de considérer le parallépiped rectangle circonscrit au Vaisseau, & de régler le droit sur ce solide. Il est nécessaire d'avoir égard à la profondeur de la carène; car selon que le Navire est plus ou moins creux, on lui assigne diverses places dans le Bassin ou dans le Port; & c'est pour cela qu'au lieu de prendre le rectangle circonscrit à la coupe horisontale faite à fleur d'eau, il faut absolument prendre le parallépiped même.

Une seule chose seroit à observer; c'est que comme le parallépiped circonscrit, & qui est censé occupé par le Navire, est beaucoup plus grand que la capacité intérieure de la cale, il faudroit, afin que le droit fut toujours le même, (puisque'il n'est pas question d'en faire acquérir un nouveau à ceux qui l'ont déjà,) le réduire & le rendre moindre à proportion sur chaque pied cubique. Si le droit d'ancrage est, par exemple de 5 sols par tonneau, un Navire de 250 tonneaux, doit payer 62 livres 10 sols; & si l'on cherche la solidité du parallépiped rectangle circonscrit à un pareil Navire, & qu'on prenne le milieu de ce qui résulte des différentes fabriques ou constructions, on trouvera qu'elle est d'environ 20000 pieds cubiques. Or il ne reste plus qu'à repartir les 62 livres 10 sols à cette solidité, & on apprendra que chaque espace de 320 pieds cubiques doit payer une livre ou 20 sols.

S'il

S'il est question après cela de déterminer le droit pour tout autre Navire, pour un, par exemple, qui ait 122 pieds de longueur de l'étrave à l'étambot, 34 pieds de plus grande largeur, & 17 de creux; le parallépipède circonscrit sera de 70516 pieds cubiques, produit de 122 par 34 & 17. On pourroit même par une plus grande simplicité, se faire une loi de supposer toujours que le creux est la moitié de la plus grande largeur sans se donner la peine de le mesurer. Enfin, divisant la solidité 70516 par le nombre constant 320, il viendra au quotient 220 livres & un peu plus de 7 sols pour le droit d'ancrage requis. Ce qu'on vient de faire ici pour certains ports, se peut exécuter avec la même facilité pour tous les autres; & on pourroit aisément former aussi des tarifs pour tous les Navires. Si le droit est fixé à 1 f. par tonneau, au lieu de diviser le solide des trois dimensions par 320, il faudra diviser par 1600. Si le droit est de 2 f. il faudra diviser par 800. S'il est de 3 f. on divisera par $533\frac{1}{3}$, & s'il est de 4, on divisera par 400. Cette manière de déterminer les droits dont il s'agit, auroit cela de particulier, outre ses autres avantages; que comme il ne seroit pas possible de la confondre avec les vraies méthodes de jaugeur, elle ne causeroit jamais d'équivoque. On juge assez que ce n'est qu'avec quelque sorte de repugnance, que le Mathématicien se livre à des discussions telles que celle-ci, où il s'agit d'intérêts très-legers, en comparaison de l'objet important qui nous occupe dans ce Traité. Mais nous ne saurions trop nous laisser entraîner par le motif de rendre nos sciences utiles: nous croyons d'ailleurs avoir ôté la racine à une infinité de contestations, en donnant le moyen de régler avec équité des choses qui n'avoient été décidées que par l'estime trompeuse des Experts, ou que sur des règles très-peu fidèles.

CHAPITRE V.

Du Jaugeage des Vaisseaux en tonneaux de poids.

I.

ON ne descendra pas dans le détail de tous les moyens qu'ont imaginé les Constructeurs & les Jaugeurs pour trouver le port des Vaisseaux en tonneaux de poids ou de 2000 livres. Peu aidés de la Géométrie, & encore moins instruits des principes d'Hydrostatique, ils ont été bien éloignés de soupçonner que la pesanteur de la charge étoit exprimée par la seule partie de la carène qui fait la différence du plus grand & du moindre enfoncement, lorsque le Navire est chargé, & lorsqu'il est vuide. Au lieu de cela ils se sont fait des méthodes particulières, en prenant pour *exposant* de la charge, des parties qui n'y avoient aucun rapport; j'ai vû de ces Constructeurs, & même de ceux qui s'étoient fait quelque réputation, qui tiroient au-dedans du Navire deux especes de diagonales, l'une du haut de l'étrambot au bas de l'étrave, & l'autre du haut de l'étrave au bas de l'étrambot, & qui mesurant ensuite en pieds & en pouces combien le point d'intersection de ces deux diagonales étoit élevé au-dessus de la quille, attribuoient un certain nombre de tonneaux à chaque pouce d'élevation. Ces Constructeurs aussi peu Géomètres que ces Peuples de Grece dont nous parle Plutarque, qui doubloient si mal l'Autel d'Apollon, eussent pû se faire une méthode également bonne, en se réglant sur toute autre partie qu'ils eussent voulu du Vaisseau, comme sur la Statuë, par exemple, qu'on place à l'extrémité de la prouë pour servir d'ornement. Mais pour trouver leur compte par un moyen si extraordinaire, il ne suffisoit pas qu'ils employassent toujours scrupuleusement les mêmes gabaris dans leur construction, il falloit encore qu'ils n'eussent jamais

construits que des Navires à peu près de même grandeur : sans cela ils n'eussent pas pû se dispenser d'apprendre à la fin , que la solidité des corps semblables ne suit pas le raport simple de quelqu'un de leur côté , mais un raport très-différent.

Il ne faut pas tout-à-fait confondre avec ces Méthodes formées contre toutes les règles , celle qui est autorisée par un espece de Règlement , & qui se trouve depuis long-tems entre les mains des Jaugeurs un peu plus instruits , quoiqu'elle soit encore très-défectueuse. Cette Méthode connue sous le nom de *Méthode de Roïen* , ne diffère pas du jaugeage intérieur dont on a déjà parlé ; puisqu'après avoir trouvé la capacité de la cale en pieds cubiques , on ne fait autre chose que la diviser par 42 , conformément à l'Ordonnance. Il est certain que cette pratique est encore très-défectueuse ; puisqu'elle employe , pour déterminer la pesanteur particuliere de la charge , une solidité qui n'y a aucun raport , la capacité entiere de la cale , qui étant à peu près égale à la carène , ou à toute la partie submergée , n'est propre qu'à donner la pesanteur totale du Vaisseau. S'il étoit question de déterminer cette dernière pesanteur , il faudroit , comme on l'a vû , diviser toute la solidité par 28 : de même que la Méthode exacte & Géométrique de trouver la pesanteur particuliere de la charge , est de diviser par ce même nombre la partie du haut de la carène , qui se plonge par le seul poids des marchandises. Mais aussi-tôt qu'on veut mal-à-propos déduire le port du Vaisseau , ou la seule pesanteur de sa charge , de la solidité entiere de la carène , ou de la capacité de la cale qui lui est à peu près égale , & qui sont l'une & l'autre beaucoup trop grandes , il faut indispensablement diviser par un nombre aussi trop grand. Il faut que ce nombre soit plus grand dans le même raport , que toute la carène surpasse cette partie qui fait la différence des deux enfoncemens ; ou en même raport que la pesanteur totale du Vaisseau est plus grande que celle de sa charge.

C'est de cette sorte qu'on s'est trouvé dans la nécessité

de diviser tantôt par 40 ou 42, tantôt par 56, & quelquefois par 60 ou 80; quoiqu'il soit certain que le tonneau de 2000 livres, n'a jamais besoin pour se soutenir, que d'un enfoncement dans la Mer de 28 pieds cubiques. Le Pere Fournier rapporte dans son Hydrographie, qu'on prenoit de son tems 56 pour diviseur; & si l'on en croit le Pere Tosca, on suivoit encore il y a peu d'années en Espagne, une opération qui revenoit à la même chose que si l'on eût divisé par ce nombre, jusqu'à ce qu'un nouveau Règlement qui vaut encore moins, a prescrit de diviser le solide des trois dimensions, la plus grande largeur, la profondeur & la longueur moyenne * du Vaisseau par 128; ce qui doit donner à peu près la même chose que si l'on divisoit la solidité seule de la carène par 60 ou 64. On a donc commencé par se tromper, en voulant exprimer le poids des marchandises par toute la carène, ou toute la capacité de la cale qui, au lieu d'être *l'exposant* de la charge, l'est plutôt de la pesanteur totale du Navire tout compris; & il a fallu ensuite, pour réparer cette première faute, en commettre une seconde, en attribuant au tonneau un déplacement trop grand dans le même rapport. Lorsqu'il s'est trouvé que la charge n'étoit que la moitié de la pesanteur totale, au lieu de diviser la solidité de la carène par 28, on l'a fait par 56; ce qui a donné un quotient deux fois moindre. On a divisé par 84, lorsque la pesanteur de la charge n'étoit que le tiers de la pesanteur totale. Enfin, l'Ordonnance de 1681 a voulu qu'on prît toujours 42 pour diviseur, sur l'avis des Experts, qui avoient examiné principalement des Navires de transport, dans lesquels la pesanteur de la charge étoit à peu près les deux tiers de la pesanteur totale; pendant que leur pesanteur particulière formoit l'autre tiers.

* La longueur moyenne dont il s'agit, tient le milieu entre toute la longueur du Vaisseau, & la longueur de sa quille.

I I.

Mais s'il est quelquefois vrai que la pesanteur particulière du Navire soit effectivement le tiers de la pesanteur qu'il a avec sa charge, il est certain qu'on ne peut pas en.

faire une règle générale. Il s'en faut d'abord extrêmement que cette règle soit applicable aux Vaisseaux de Guerre; parce qu'ils sont déjà comme chargés par le poids de leur artillerie & de leurs munitions; ce qui oblige de leur donner ensuite beaucoup moins de charge à proportion, & peut-être la moitié moins : de sorte qu'au lieu de diviser par 42, il faudroit le faire par 60 ou 80, & peut-être par 100. Dans les Navires mêmes Marchands, il se trouve tous les jours qu'à cause de leur fabrique plus ou moins pesante, & de la diversité de leurs apparaux, l'un pèse un tiers ou un quart plus que l'autre, quoiqu'ils soient destinés à avoir une égale pesanteur totale, parce que leur carène ou la partie qu'ils doivent plonger dans la Mer, est exactement de même solidité. Il arrive encore à peu près la même chose aux mêmes Navires considérés en différens états : car on fait quelquefois de très-grands changemens dans leurs hauts, ou dans ce qu'on appelle leurs *œuvres mortes* : On leur ajoute un pont, ou on le retranche; on donne du canon à un Navire qui n'en avoit pas. Or tous ces changemens qui ne doivent apporter aucune altération au poids total du Navire, puisque la carène est toujours la même, doivent se manifester ensuite sur la pesanteur de la charge qui doit être plus ou moins grande, précisément de la même quantité. Malheureusement la méthode ordinaire de jaugeur est trop inflexible, pour entrer dans ces sortes de considérations, & elle sera toujours incapable de sentir toutes ces différences. Enfin, pour le dire encore une fois, lorsqu'on mesure la solidité entière de la carène, & qu'on se borne à cette seule mesure, on est bien en état de découvrir la pesanteur totale du Vaisseau qui lui est proportionnelle; mais il n'est jamais possible d'en déduire la pesanteur particulière de la charge, puisqu'on ne sçait pas le rapport qu'elle a avec l'autre, & que ce rapport est très-variable.

. On n'avance rien ici qui ne se trouve parfaitement conforme à l'expérience. Les Gabares dont on se sert au Croisic pour transporter les sels d'un endroit du Port à

l'autre, n'ont point de pont, & n'ont qu'un seul mât qu'on arbore, ou qu'on abaisse selon les occasions : je mesurai avec soin la capacité de la cale d'une de ces gabares nommée la *Mariane*, que je trouvai de 615 pieds cubiques, & divisant cette solidité par 42, il me vint $14\frac{27}{42}$ tonneaux par son port. Cependant il est bien certain qu'elle pouvoit porter davantage : c'est ce que je sçu non-seulement par la mesure exacte de la partie qui enfonçoit dans l'eau par la pesanteur de la charge; mais aussi par la quantité de sel que cette gabare portoit effectivement. Pour obtenir plus exactement la solidité de la partie qui se plongeait par le poids de la charge; je mesurai sa largeur en 47 endroits, & je trouvai que cette solidité étoit de 500 pieds cubiques 981 pouces, ce qui donne pour la véritable pesanteur de la charge 36040 liv. ou 18 tonneaux 40 liv. Ainsi la méthode ordinaire de jauger rendoit le port trop petit d'environ une cinquième partie du tout.

Une Flute Hollandoise nommée *le Cordonnier*, qui se trouva au Croisic dans le même tems, avoit presque toutes ses largeurs égales, & la moyenne étoit de 19 pieds 0 pouce 9 lignes : sa profondeur réduite étoit de 9 pieds $5\frac{3}{4}$ pouces, & sa longueur mesurée depuis le mât de misaine jusqu'à 8 pieds de l'étambot, étoit de 67 pieds. Le produit de ces trois dimensions donne à peu près 12107 pieds cubiques, & divisant cette solidité par 42, il vient $288\frac{11}{42}$ tonneaux pour le port de cette Flute, & on pouvoit le supposer encore plus grand; parce que rien n'empêchoit de prendre 70 ou même 75 pieds pour sa longueur, au lieu de 67. Cependant je m'assurai en mesurant avec un extrême soin, & par très-petites portions, la partie de la carène qui faisoit la différence des deux enfoncements, que cette Flute ne pouvoit pas porter un si grand poids. Cette partie de la carène qui est *l'exposant* de la charge, n'étoit que de 7063 pieds cubiques 1526 pouces, lesquels n'indiquent que 254 tonneaux 599 livres. Mais d'où vient que la méthode vulgaire de jauger, qui rendoit le port de la gabare trop petit, rendoit en même

tems celui de la Flute trop grand ? La raison en est bien évidente. La gabare étoit très-legere , & ne pesoit pas le tiers de la pesanteur totale qu'elle avoit avec sa charge ; d'où il suit que la charge devoit être plus grande que les deux tiers de la pesanteur totale , & plus grande par conséquent que ne la suposoit la méthode ordinaire de jauger. La Flute au contraire étoit beaucoup plus pesante à proportion , à cause de ses ponts & de sa mâture ; & sa pesanteur particuliere étant plus grande que le tiers de la pesanteur totale , la charge devoit être moindre que les $\frac{2}{3}$. C'est pourquoi la méthode ordinaire qui suppose absolument & sans distinction , que la charge est toujours les $\frac{2}{3}$ de la pesanteur totale , la faisoit trop grande.

Mais s'il se trouve une erreur déjà si considérable dans les Bâtimens de transport , comme les Flutes qui n'ont point de canon , & qui n'ont qu'un seul tillac , elle doit l'être bien davantage dans les Navires qui sont *Frégatés* , qui sont à deux ponts , & qui ont de l'artillerie. Ces Navires seront incomparablement plus pesants ; & supposé qu'un de ces Navires ait la cale précisément de même capacité que la Flute ; trompé qu'on sera par la méthode que nous réfutons , dans laquelle la considération des différentes pesanteurs du Bâtiment n'entre point , on croira que le Navire sera également de 288 tonneaux. Cependant il est certain qu'il ne sera pas même de 254 ; puisqu'il sera encore beaucoup plus chargé par son propre poids , que ne l'étoit la Flute.

Il résulte de tout cela que pour ne pas s'exposer à commettre des injustices criantes , il faut , au lieu de chercher la solidité de la carène entiere , s'attacher à la mesure de la seule partie qui fait la différence des deux enfoncemens , & qui seule est proportionnelle à la pesanteur de la charge. Il seroit inutile de tenter la division de la solidité de la cale entiere par quelqu'autre nombre que par 42 pieds : car tous les nouveaux diviseurs qu'on pourroit choisir , suposeroient toujours quelques rapports déterminés entre la pesanteur totale & le poids de la charge ; mais

ces rapports ne pourroient avoir encore lieu que par hazard dans certains Vaisseaux. Lorsqu'on mesurera au contraire la partie de la carène, qui fait la différence des deux enfoncemens, on se fera une méthode qui sera absolument générale, & qui réussira aussi-bien dans l'aplication qu'on en fera aux Vaisseaux de Guerre, que dans celle qu'on fera aux Gabares & aux Bateaux qui navigent sur les Rivières. Ce sont-là les deux cas extrêmes, dans lesquels le jaugeage, selon la méthode ordinaire, est sujet aux plus grandes erreurs, en se trompant en excès, sur le port des Vaisseaux, & en défaut sur celui des Gabares. Si le Navire par lui-même est beaucoup plus pesant, il doit porter ensuite un moindre poids étranger ; mais la partie de la carène qui reste à caler, sera plus petite dans le même rapport ; & il suffira donc toujours de la mesurer, pour avoir exactement le poids de la charge.

C H A P I T R E V I.

Suite du Chapitre précédent : Méthode de trouver la pesanteur de la charge, en mesurant la partie de la Carène qu'elle fait plonger dans la Mer.

I.

IL ne sera jamais difficile de mesurer exactement cette partie, qui fait la différence des deux enfoncemens, ou qu'on doit regarder comme l'exposant du poids des marchandises : Rien n'empêche de se servir de la méthode expliquée ci-devant, pour trouver la solidité des tranches de la carène. Mesurant en pieds quarrés l'étendue des deux coupes horisontales faites à fleur d'eau, lorsque le Navire est chargé, & lorsqu'il est vuide, il n'y a qu'à ajouter ces deux étendues ensemble, & en prendre la moitié, pour avoir la coupe moyenne ; & multipliant
cette

cette dernière étendue par la hauteur ou l'épaisseur de la partie, il viendra la solidité qu'il ne restera plus qu'à diviser par 28, pour avoir la pesanteur de la charge en tonneaux. Diverses personnes dans la Marine ont connu depuis long-tems cette pratique ou ses équivalentes : elle étoit sçue il y a plus de 60 ans à Brest ; feu M. Coubard, aussi habile Mathématicien que sçavant Hydrographe, m'ayant assuré qu'elle étoit en usage dans ce Port, lorsqu'il y arriva ; & il seroit facile de remonter à une époque encore plus éloignée, si on le vouloit. C'est cette Méthode que M. Hocquart, qui l'avoit apprise à Brest, & de M. Coubard même ; eut le soin d'adresser au Conseil de Marine dès 1717, & que M. de Mairan, trop éclairé pour ne pas faire un bon choix, consentit à adopter, en la préférant à un grand nombre d'autres * ; mais après l'avoir purgée de quelques défauts dont elle s'étoit chargée dans les différentes mains par lesquelles elle avoit passé. Cette pratique suppose que les coupes horizontales de la carène sont en progression arithmétique, ou qu'elles sont proportionnelles à celles du conoïde parabolique, coupé perpendiculairement à son axe. On pourroit craindre que des arcs de parabole pris à une certaine distance du sommet, fussent trop droits pour représenter toute la courbure de la carène dans le sens vertical, & que la Méthode rendît le port du Vaisseau un peu trop petit. Mais comme les deux coupes la plus haute & la plus basse, qui interceptent la partie qui fait la différence des deux enfoncemens, sont toujours peu éloignées l'une de l'autre, il est certain que le défaut de courbure de la parabole ne peut apporter que des erreurs peu considérables, & qui seront pour l'ordinaire assez petites pour devoir être tolérées.

* Voyez
les Mémoires
de l'Académie
des Sciences,
ann. 1721.

Nous devons ajouter que cette Méthode peut encore s'abréger, & souvent en devenant plus exacte. Au lieu de chercher l'étendue de la coupe moyenne de la partie de la carène, qui fait la différence des deux enfoncemens, en prenant la moitié de la somme de la première

H h

& de la dernière, il n'y a qu'à la mesurer immédiatement ; en se dispensant de mesurer les deux autres. On trouvera sensiblement la même chose , comme je l'ai éprouvé quelquefois : à cela près que cette coupe moyenne actuellement mesurée , sera presque toujours un peu plus grande ; ce qui réparera souvent le défaut dans lequel on tombe , en attribuant aux flancs de la carène la courbure parabolique qui est un peu trop petite ; pourvu néanmoins qu'on ne tombe pas dans l'excès contraire.

Prenons, pour exemple, un Navire qui étant sans charge, ait tous ses agreils, son artillerie & ses munitions à bord ; ou dans lequel on ait au moins déjà introduit un poids égal à la pesanteur de toutes ces choses. On l'examinera lorsqu'il sera à flot , & on verra combien il doit encore caler par le poids de sa charge , sans être exposé à aucun accident : s'il a, par exemple, encore 7 pieds à enfoncer, on mesurera l'étendue de la coupe horizontale, $3\frac{1}{2}$ pieds au-dessus de la surface de l'eau. Ce sera la coupe moyenne dont on vient de parler ; & il ne restera plus qu'à la multiplier par les 7 pieds d'épaisseur de toute la tranche pour avoir la solidité. Il n'est pas nécessaire que je dise de rechef que pour mesurer l'étendue de la coupe , on doit la partager en plusieurs trapezes, par des largeurs prises à une égale distance les unes des autres. Si ces largeurs se trouvent en commençant vers la poupe de 1 pied, de 16, de 26, de 28, de 29, de 28, de 27, de 22 & de 1, & que la distance de l'une à l'autre, soit de 15 pieds, parce que toute la longueur de la coupe est de 120, son étendue sera de 2655 pieds quarrés, qu'il ne restera plus qu'à multiplier par 7, hauteur de toute la partie qui se plonge par la charge ; & il viendra pour la solidité 18585 pieds cubiques qui étant divisés par 28, donnent environ 664 tonneaux pour le port du Navire dont il s'agissoit.

Nous ne devons pas au reste négliger de faire une remarque que nous croyons très-importante. C'est qu'il est absolument nécessaire pour mesurer l'étendue des

coupes horisontales, ou d'employer le moyen dont nous nous sommes servis, ou d'en employer quelqu'autre, qui étant invariable dans les opérations qu'il exige, ne laisse rien au choix, ni à la direction du Jaugeur. Lorsque je fis au Croisic des épreuves de cette Méthode, à la recommandation de l'Académie, dont je n'avois pas encore l'honneur d'être Membre, je crû que sur l'exposé du P. Reyneau, qu'il n'étoit pas précisément question de la manière de mesurer les coupes horisontales : mais qu'il s'agissoit de reconnoître quelle loi elles suivoient ; de sçavoir si elles étoient proportionnelles aux coupes correspondantes d'un conoïde parabolique, ou si elles suivoient quelque autre progression. Ce ne fut que de cet unique point de vûe que je considèrai le problème, & que je rendis témoignage de l'exactitude que je trouvai dans chaque opération. Ainsi les épreuves que je fis alors, ne sont favorables à celle dont il s'agit maintenant, que dans la seule supposition qu'on mesure l'étendue des coupes dans la plus grande exactitude, comme je tâchai de le faire : au lieu que ce ne seroit peut-être plus la même chose, si on se faisoit une règle de ne les partager qu'en un certain nombre de parties, comme trois ou quatre, ainsi que le vouloit M. Hocquart d'après M. Coubard ; & qu'on laissât au Jaugeur à décider si telle partie doit être traitée comme un segment de section conique, ou comme une autre figure qu'il ne connoitra souvent pas mieux. De telles règles ne sont bonnes que lorsqu'elles sont entre les mains de gens éclairés, qui sçavent les accommoder aux circonstances particulieres, en voyant les changemens qu'il faut y faire : Dans l'usage ordinaire, on a besoin d'une Méthode qui n'exige rien autre chose que d'être observée inviolablement, par le Praticien grossier, qui fait les fonctions de Géomètre.

II.

Lorsque la question du Jaugeage fut traitée dans l'Académie des Sciences, il ne fut pas possible à M. Va-

rignon livré , comme tout le monde ſçait , au pur Géo-
 métrique , de ſe borner à choiſir entre le grand nombre
 de Pratiques de toutes parts recueillies par le Conſeil de
 Marine , lesquelles ne portoient pas pour lui le caractère
 d'une précision aſſez rigoureuſe. Il crut devoir imaginer
 une Méthode nouvelle , qui eſt toute de lui , & qu'on peut
 voir dans le même Volume de 1721. J'en fis auſſi des
 eſſais pour ſatisfaire à l'intention de l'Académie qui , re-
 tenuë par ſa ſageſſe ordinaire , vouloit pour plus de ſuretë ,
 que toutes les différentes pratiques qu'on propoſoit , fuſſent
 ſoumiſes à l'expérience , & appliquées actuellement à la
 figure même des Vaiſſeaux. M. Varignon prétendoit obte-
 nir la ſolidité de cette partie de la carène qui eſt *l'expoſant*
 de la charge , en la conſidérant comme une tranche d'el-
 lipſoïde formé ſur les principales dimensions du Navire.
 Il circonſcrivoit un ellipſoïde , ou plutôt un demi-ellip-
 ſoïde à la carène , & il prenoit enſuite pour la partie dont
 il vouloit avoir la ſolidité , la partie corréſpondante de
 l'ellipſoïde , interceptée entre les mêmes plans horiſon-
 taux. Il donna pour cela une formule qui ne pouvoit pas
 manquer d'être élégante , en partant de mains ſi habiles.
 Mais il arrivoit preſque toujours que les deux parties qu'il
 comparoit , ne ſe reſſembloient que très-peu , qu'elles
 étoient plus ou moins longues , & plus ou moins larges
 l'une que l'autre , & qu'elles avoient des ſolidités très-
 inégales ; juſques-là que je trouvai dans les eſſais que j'en
 fis , une différence de plus d'une ſeptième partie , dans un
 cas qui paroiſſoit néanmoins très-favorable : c'étoit en apli-
 quant la Méthode à une Gabare , qui approchoit plus de
 la figure de l'ellipſoïde que toute autre eſpece de Bâti-
 ment que je connoiſſe. Outre cela il étoit abſolument
 impoſſible de faire uſage de la même Méthode pour les
 Navires , dont la poupe eſt terminée par un plan preſque
 vertical , lors que ce plan entre dans l'eau , ou qu'il en-
 tame une partie même de la carène.

Toutes ces difficultés me firent penſer , qu'au lieu de
 former l'ellipſoïde ſur les principales dimensions du Na-

vire, il valoit beaucoup mieux l'accommoder à la seule figure de la partie de la carène qu'il s'agissoit de mesurer; sans se mettre en peine si le reste du solide convenoit avec le reste du Vaisseau, dont il n'étoit pas alors question. Qu'importoit-il en effet que tout l'ellipsoïde eût exactement la même longueur, la même largeur & la même profondeur que le Vaisseau, si la partie de la carène dont on vouloit découvrir la solidité, n'avoit que peu ou point de rapport avec la partie correspondante de l'ellipsoïde qu'on mesuroit en sa place? Il falloit donc, sans avoir égard à tout l'ellipsoïde, s'attacher seulement à conformer avec exactitude une partie sur l'autre; à modeler sur la partie de la carène, la partie de l'ellipsoïde, destinée à la représenter. Comme ce ne pouvoit être encore que par un extrême hazard que les coupes horisontales de la carène fussent exactement des ellipses, & égales aux coupes correspondantes de l'ellipsoïde, puisque cela n'avoit pas même lieu dans nos Gabares, il me parut qu'on ne pouvoit pas se dispenser de mesurer au moins l'étendue de la première & de la dernière; c'est-à-dire des deux qui interceptent la partie de la carène, & qu'on ne pouvoit emprunter tout au plus de l'ellipsoïde que la seule loi ou progression qu'il y a entre l'étendue de ses coupes. A l'aide de tous ces changemens, on devoit parvenir à déterminer le port des divers Bâtimens dans la dernière précision: M. Varignon même eut la générosité d'en convenir. Mais d'un autre côté la méthode devenoit beaucoup plus longue en perdant de sa simplicité: Il falloit, pour ainsi dire, payer par un plus long calcul ce qu'on gagnoit du côté de l'exactitude. La Méthode se réduisoit à cette autre formule $\frac{A \times f^2 - f^2 - e^2 + B \times f^2 - f^2 - 2e^2}{3f + 3e}$ qui exprime la solidité requise, pendant que A & B désignent l'étendue des deux coupes horisontales actuellement mesurées, faites à fleur d'eau, lorsque le Navire est chargé, & lorsqu'il est vuide; & que e & f marquent les quantités verticales dont ces mêmes coupes se trouvent au-dessous de l'endroit le plus gros de la carène.

Fig. 53. Pour voir l'origine de cette nouvelle règle, on n'a qu'à considérer dans la Figure 53, l'ellipsoïde PQR, qui conformément à ce qu'on vient de dire, ne représente pas, comme le vouloit M. Varignon, la carène entière du Navire ABCD; mais dont la partie STXV est la plus égale qu'il est possible à la partie correspondante EFGH, dont on veut avoir la solidité. Nous supposons qu'on a mesuré actuellement l'étendue A & B des deux coupes horizontales FE & GH qui interceptent cette partie: c'est connoître déjà l'étendue des coupes ST & VX de l'ellipsoïde qui sont de même grandeur. On connoît aussi les distances YO & ZO de ces dernières coupes au centre O de l'ellipsoïde, qui sont égales aux quantités $LI = e$, & $MI = f$, dont l'endroit I le plus gros du Navire est élevé au-dessus de la surface de l'eau, dans les deux différens états où l'on est obligé de le considérer. Cela supposé, je nomme p le demi-axe vertical OQ de l'ellipsoïde ou de la sphère, (car c'est la même chose) dont les coupes sont en même raison que celle de la carène dans l'endroit qu'il s'agit de mesurer, & x les parties verticales de ce demi-axe OQ, à commencer du centre O. Ainsi x représente la quantité dont chaque coupe est au-dessous du centre, & la différentielle dx représentera l'épaisseur infiniment petite de chaque tranche ou de chaque élément, dont on peut supposer que la tranche sensible STXV est formée. Il est évident que puisque les coupes de la partie de la carène sont en même raison que les coupes correspondantes de la sphère, dont $OQ = p$ est le demi-axe, & que les cercles qui sont les coupes de la sphère, sont en même rapport que les quarrés de leur rayon, on pourra faire cette analogie $\overline{OQ}^2 - \overline{OY}^2 = p^2 - e^2$ est à l'étendue A de la coupe ST ou FE comme $\overline{OQ}^2 - \overline{OZ}^2 = p^2 - f^2$ est à l'étendue B de la coupe VX ou GH; ce qui donne l'équation $Bp^2 - Be^2 = Ap^2 - Af^2$, dans laquelle $p^2 = \frac{Af^2 - Be^2}{A - B}$. Ainsi on connoît déjà le demi-axe vertical p de l'ellipsoïde ou de la sphère dont les coupes horizontales sont pro-

portionnelles aux coupes correspondantes de la carène.

Par la même propriété de la sphère, ou à cette autre analogie $p^2 - e^2$ est à l'étendue a^2 de la coupe ST ou

FE, comme $p^2 - x^2$ est à $\frac{Ap^2 - Ax^2}{p^2 - e^2}$ pour l'étendue de toutes les autres coupes : & si on multiplie cette étendue par la quantité infiniment petite dx , on aura $\frac{Ap^2 dx - Ax^2 dx}{p^2 - e^2}$ pour l'expression des tranches infiniment

peu épaisses qui servent d'élément à la carène. Je prends l'intégrale $\frac{Ap^2 x - \frac{1}{3} Ax^3}{p^2 - e^2}$ qui peut exprimer également la so-

lidité de toutes les parties sensibles, qui répondent aux différentes parties x du demi-axe vertical : Mais il faut mettre successivement $f = OZ = IM$, & $e = OY = IL$ à

la place de x ; il viendra $\frac{Ap^2 f - \frac{1}{3} Af^3}{p^2 - e^2}$ & $\frac{Ap^2 e - \frac{1}{3} Ae^3}{p^2 - e^2}$, &

ôtant l'une de l'autre, il restera pour la solidité de SX ou de FH, $\frac{Ap^2 f - Ap^2 e - \frac{1}{3} Af^3 + \frac{1}{3} Ae^3}{p^2 - e^2}$; & si l'on substitue

$\frac{Af^2 - Be^2}{A - B}$ à la place de p^2 , on réduira cette expression à $\frac{\frac{2}{3} Af^3 - Af^2 e + \frac{1}{3} Ae^3 + \frac{2}{3} Be^3 - Be^2 f + \frac{1}{3} Bf^3}{f^2 - e^2}$, & par la division à

$\frac{Axf^3 - fe - e^2 + Bxf^2 + fe - 2e^2}{3e + 3f}$, qui exprime donc en gran-

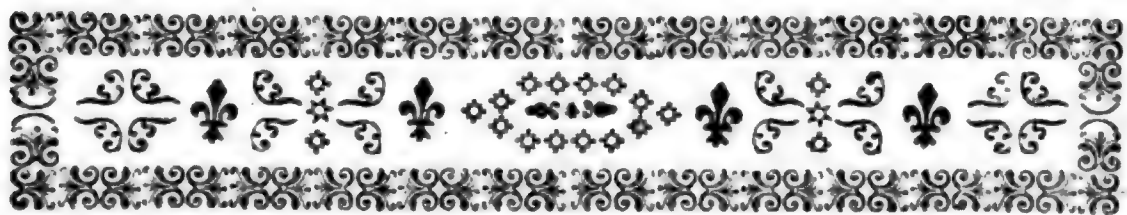
deurs entièrement connues, la solidité de la partie de la carène qui s'enfonce dans l'eau par la seule pesanteur de la charge. Dans le cas où le Navire chargé enfoncera jusqu'au terme I de la plus grande largeur, il arrivera que IL ou OY = e sera nulle, & alors la formule précédente se réduira à $2A + B \times \frac{1}{3} f$, qui est beaucoup plus simple.

On voit assez que la méthode que fournit l'une & l'autre formule, ne peut pas manquer d'être exacte, & qu'elle doit même l'emporter sur toutes les autres pratiques, aussi-tôt qu'elles n'emploient que le même nombre de mesures. Il est seulement fâcheux que le calcul dans lequel il est nécessaire d'entrer, puisse paroître un peu long aux personnes qui se mêlent du jaugeage. Mais on peut se servir de cette nouvelle règle, lorsqu'on se propose une plus

248 T R A I T É D U N A V I R E ;
grande précision , & employer la Méthode du premier
article dans tous les cas ordinaires. Je trouvai dans la Ga-
bare *la Mariane* , que l'étenduë A de la coupe supérieure
étoit de 265 pieds 22 pouces quarrés , que celle de la
coupe inférieure B étoit de 229 pieds 95 pouces quarrés ,
& que les quantités *e* & *f* étoient de 1 pied 6 pouces &
de 3 pieds 4 pouces. En apliquant la formule à ces quan-
tités , il me vint 457 pieds 1196 pouces cubiques ; ce qui
ne diffère presque pas de la vraye solidité 457 pieds 1725
pouces cubiques que j'obtins , en partageant en 60 prif-
mes la partie de la carène qui faisoit la différence des
deux enfoncemens.



SECONDE



S E C O N D E S E C T I O N.

De la distribution de la pesanteur du Vaisseau,
& de la position qu'on doit donner au centre
dans lequel se réunit cette pesanteur.

 C H A P I T R E P R E M I E R.

*Méthode de trouver le centre de gravité de la Carène,
dans lequel se réunit la poussée verticale de l'eau.*

Nous n'avons peut-être que trop insisté & sur la pesanteur que doit avoir le Navire, & sur les diverses forces qu'à la Mer pour le pousser verticalement en haut, selon que la partie submergée de la carène est plus ou moins grande. Nous devons maintenant examiner la distribution de cette pesanteur; & avant toutes choses donner quelque moyen simple de déterminer le centre de gravité de la partie submergée, dans lequel nous savons que se réunit la poussée de l'eau. Les Géomètres ne manquent pas de Méthodes pour découvrir le centre de gravité des corps, de même que le centre d'effort de plusieurs puissances. Mais on a besoin ici d'une pratique générale, dont on puisse, malgré sa simplicité, se servir pour les corps de toutes sortes de figures: ce qui empêche d'avoir recours aux opérations absolument Géométriques.

I.

Tous les Mécaniciens sçavent le moyen de trouver le centre de gravité des corps par l'expérience, en les suspendant : il ne sera pas inutile d'avertir que rien n'est plus facile que d'employer ce moyen dans les Arsenaux de Marine, où on a toujours prêtes toutes les choses nécessaires pour cela. Il n'y a qu'à faire faire avec du bois le plus homogène qu'il sera possible, une petite carène solide, parfaitement proportionnelle ou semblable à la grande. On tracera une échelle de parties égales, dans laquelle les pieds de Roy seront représentés par le $\frac{1}{3}$ ou le $\frac{1}{4}$ d'un pouce; & on fera toutes les largeurs de la petite carène, & toutes les autres dimensions, d'autant de ces petits pieds, que la grande carène en contiendra de grands. La petite carène étant ensuite soutenue avec une ficelle en différentes situations; si on prolonge par la pensée la ficelle au-dedans du corps, elle indiquera son centre de gravité, qui sera situé précisément de la même manière dans la grande carène. Cette pratique, comme on le voit, est très-simple: cependant il est à propos de pouvoir quelquefois se dispenser de s'en servir, & d'avoir pour cela d'autres Méthodes qu'on puisse appliquer d'une manière plus directe.

I I.

Le principe dont on doit continuellement faire usage dans cette recherche, c'est que la somme des momens de plusieurs puissances ou de plusieurs poids, c'est-à-dire la somme de tous leurs produits particuliers par leur distance à un point qu'on prend pour terme ou pour hypomocion, est égale au moment total de ces poids, ou au produit de leur somme par la distance de leur centre de gravité commun à ce point qui sert de terme. Ce principe qui est général, est également vrai, lorsqu'il y a un nombre infini de différens poids, que lorsqu'il n'y en a qu'un nombre limité; pourvu que leurs directions soient

parallèles: & il en résulte que pour trouver le centre de gravité de plusieurs poids, il n'y a toujours qu'à chercher le moment particulier de chacun, ou le multiplier par sa distance au point fixe, faire une somme de tous ces momens; & que la divisant par la somme des poids, on aura la distance requise du centre de gravité commun au point fixe.

III.

Proposons-nous pour commencer par une application plus simple du principe, de trouver le centre de gravité Γ de la surface $AMGN$ (Fig. 51.); & nommons x les parties variables AB , AC , &c. de son axe, & y ses largeurs ordonnées QR , OP , &c. nous aurons $\frac{Syx dx}{Sy dx}$ pour l'expression de la distance ΓA . Car les petits rectangles élémentaires compris entre deux ordonnées infiniment proche l'une de l'autre, seront exprimés par $y dx$, & leur somme ou l'étendue entière de la surface par l'intégrale $Sy dx$, pendant que $xy dx$ exprimera les momens particuliers de ces mêmes élémens considérés comme de petits poids par rapport au point A , & $Sxy dx$ représentera leur somme totale, ou le moment total qu'il ne reste donc plus qu'à diviser par $Sy dx$ somme des poids. Toute la difficulté que renferme cette recherche consiste, comme il est évident, à trouver les intégrales; mais si on veut en venir à bout sans peine, on n'a qu'à les chercher par la Méthode expliquée dans le second Chapitre de la section précédente.

On a déjà montré que pour découvrir l'étendue d'une surface $AMGN$, il n'y a qu'à partager sa longueur en plusieurs parties égales dans les points B , C , D , &c. mesurer toutes les ordonnées ou les largeurs vis-à-vis de ces points; & que faisant ensuite une somme de toutes les largeurs intermédiaires & de la moitié des deux extrêmes, il ne restoit plus qu'à multiplier cette somme par la distance d'une largeur à l'autre. On aura de cette sorte

Fig. 51. l'intégrale $Sydx$; & pour trouver de la même manière l'intégrale $Syxdx$, on multipliera chaque ordonnée ou largeur par sa distance au point A; on fera une somme de tous ces produits, excepté du premier & du dernier, dont on n'introduira dans la somme que la seule moitié, & multipliant cette somme par la distance d'une largeur à l'autre, on aura l'intégrale $Syxdx$, qu'il ne restera donc plus qu'à diviser par la première, pour avoir au quotient la distance du centre de gravité à l'extrémité de la surface.

La première intégrale, ou l'étendue de la surface, sera $AB \times \frac{1}{2}ST + QR + OP + \&c.$ & la seconde, ou la somme des momens sera $AB \times AB \times QR + AC \times OP + AD \times MN + \&c.$

qui se réduit à $AB \times \overline{QR + 2OP + 3MN + 4KL + \&c.}$ Or si l'on divise cette seconde intégrale par la première, il viendra $AB \times \frac{QR + 2OP + 3MN + 4KL + \&c.}{\frac{1}{2}ST + QR + OP + \&c.}$ qui fournit cette règle très-simple, pour trouver le centre de gravité d'une surface plane quelconque, dont on a mesuré un certain nombre de largeurs à une égale distance les unes des autres. C'est de faire une somme de la seconde largeur QR, du double de la troisième OP, du triple de la quatrième MN, & ainsi de suite jusqu'à la dernière, dont on ne prendra que la moitié du multiple. Cette somme étant trouvée, on la multipliera par la distance d'une largeur à l'autre, & enfin on divisera le produit par la somme de toutes les largeurs intermédiaires, & de la moitié des deux extrêmes. Le quotient marquera la distance du centre de gravité de la surface à son extrémité.

Prenons pour exemple la surface dont nous avons parlé dans le Chapitre II. de la Section précédente, & dont la longueur est de 120 pieds, & les sept largeurs vis-à-vis des points A, B, C, &c. de 18 pieds, de 23, 28, 30, 30, 21 & 0. En ajoutant la seconde largeur 23 avec le double de la troisième 28, le triple de la quatrième 30, &c. on aura 394 qui étant multiplié par 20, distance d'une largeur à l'autre, donne 7880 pour la valeur de $AB \times \overline{QR + 2OP + 3MN + \&c.}$ Après cela il ne reste plus

qu'à diviser cette quantité par $141 = \frac{1}{2}ST + QR + OP$, &c. & il viendra au quotient 55 pieds presque 11 pouces pour la distance requise du centre de gravité Γ au point A. Il n'est sans doute pas possible d'abréger davantage cette Méthode: on en a donné une autre dans le Traité de la Mâtüre, qui sera ordinairement un peu plus exacte; mais celle-ci l'est toujours assez dans la pratique; & outre cela elle est beaucoup plus simple.

IV.

Il n'y aura pas plus de difficulté à trouver le centre de gravité d'un solide; le calcul sera simplement plus long. Le solide étant partagé en plusieurs tranches de même épaisseur par des plans paralleles, on cherchera le centre de gravité de chaque coupe, ou de chaque surface qui sépare les tranches, & multipliant l'étendue de chaque coupe par la distance de son centre de gravité à une ligne qu'on prendra pour terme. Il n'y aura qu'à faire une somme de tous ces produits, en n'employant cependant dans l'addition que la moitié du premier & du dernier; il suffira ensuite de diviser cette somme par celle de l'étendue de toutes les surfaces intermédiaires, & de la moitié de la première & de la dernière, pour avoir au quotient la distance du centre de gravité du solide entier à cette ligne qui sert de terme. Dans le Vaisseau de la Figure 50, par exemple, rien n'empêche de trouver les centres de gravités particuliers T, S, R, &c. de toutes les coupes AD, OL, &c. de la même manière qu'on l'a trouvé de la surface AMGN (Fig. 51.) Or si on multiplie l'étendue de chaque de ces coupes par la distance de son centre de gravité à l'étambot AB, & qu'on divise la somme de la moitié du premier & du dernier produit, jointe aux autres produits entiers, par la somme de l'étendue de toutes les coupes intermédiaires & de la moitié de la première & de la dernière, on aura la distance du centre de gravité de toute la carène ADCB à l'étambot.

Fig. 50.

Mais après avoir trouvé la situation de ce centre par

254 T R A I T É D U N A V I R E ,
 rapport à la longueur du Navire, il faut la chercher par rapport à la hauteur. Pour y réussir aisément, il n'y aura qu'à faire une somme de l'étendue de la seconde coupe IM, à commencer par en bas, du double de l'étendue de la troisième KN, du triple de la quatrième, &c. jusqu'à la dernière AD, dont on ne prendra le multiple que de la moitié; & multipliant cette somme par la distance d'une coupe à l'autre, il ne restera plus qu'à en diviser le produit par la somme de toutes les coupes intermédiaires IM, KN, &c. & de la moitié des deux extrêmes CB & DA; & on aura au quotient la hauteur du centre de gravité de la carène au-dessus de la quille. Il n'est pas nécessaire que nous nous arrêtions à expliquer la raison de cette pratique: on voit sans doute assez que nous considérons l'étendue de toutes les coupes comme les ordonnées de la surfaces AMGN de la Fig. 51. & que nous agissons précisément à l'égard de ces coupes, comme nous avons opéré à l'égard des ordonnées.

C H A P I T R E I I.

*De la plus grande hauteur à laquelle on peut mettre
 le centre de gravité du Vaisseau.*

I.

LE centre de gravité de la carène étant déterminé, on connoîtra le point dans lequel se réunit la poussée de l'eau, & d'où part la verticale sur laquelle cette puissance agit. Le centre de gravité du Vaisseau, comme nous l'avons montré dans la Section précédente, se place toujours exactement dans la même verticale; sans cela la poussée de l'eau ne se trouveroit pas directement opposée à la pesanteur du Navire, & ne pourroit pas la soutenir; ces deux forces ne se contrebalanceroient pas, ni ne

suspendroient jamais entierement l'action l'une de l'autre. Mais ce n'est pas encore assez pour que la situation du Navire soit permanente : car les parties de l'eau, de même que celles de toutes les autres liqueurs, sont dans un mouvement continuel ; & il arrive sans cesse que quelques-unes de ces parties chocquent la carène plus d'un côté que de l'autre ; ce qui suffiroit pour produire une inclinaison qui ne seroit d'abord, si on le veut, qu'insensible ; mais qui ne manqueroit jamais d'augmenter comme d'elle-même, si le centre du Navire étoit trop haut. Il n'y a personne qui n'ait éprouvé quelquefois quelque chose de semblable, en tâchant de faire floter de bout un morceau de bois, ou quelque autre corps léger, qui avoit beaucoup de longueur. Il s'agissoit d'abord de le placer verticalement, & de mettre son centre de gravité exactement au-dessus de celui de l'espace qu'il occupoit dans l'eau par son extrémité : mais quoiqu'on réussît peut-être à donner cette situation précise, la moindre cause extérieure suffisoit pour l'altérer ; & aussi-tôt que le corps avoit commencé une fois à s'incliner, sa propre pesanteur d'un côté, & la poussée verticale de l'eau de l'autre, tendoient conjointement à le faire incliner davantage, & à le faire tomber.

II.

Il n'est que trop certain que la même chose doit arriver à un Navire, dont le centre de gravité est trop élevé. Supposons que OEC (Fig. 54) représente la coupe d'un Vaisseau faite perpendiculairement à sa longueur, que g soit son centre de gravité, & Γ celui de sa carène, ou de sa partie AEB qui est submergée, lorsqu'il est situé horizontalement ; & que ΓZ qui est en même tems verticale, soit la direction de la *poussée*. Si ce Navire en prenant une situation qui ne diffère de la première que d'une quantité infiniment petite, & qui soit causée par le choc irrégulier de la moindre particule d'eau ou d'air, s'incline de manière que *ab* se trouve exactement dans la surface de

Fig. 54

Fig. 54. la Mer ; cette force avec laquelle l'eau agit de bas en haut, ne se réunira plus dans le centre de gravité Γ de la carène AEB, elle se réunira dans le centre de gravité γ de la partie aEb actuellement submergée ; & comme la direction γz qui sera alors verticale, au lieu de passer par le centre de gravité I, sera placée du côté opposé à l'inclinaison, il est clair que cette puissance, bien loin de travailler à rétablir la première situation, tendra au contraire à causer une plus grande inclinaison. Il n'est donc pas possible que le Navire reste alors de niveau ; puisqu'il n'est retenu dans cet état par aucune force, & qu'il suffit qu'une cause infiniment foible, commence à l'en faire sortir, pour qu'il continuë ensuite comme de lui-même à s'incliner. S'il est possible qu'il reste de niveau, c'est d'une possibilité purement Métaphysique, à laquelle il manque quelquefois bien des choses, comme on le sçait, pour qu'on la voye réduite en acte : de même que l'expérience nous apprend qu'une aiguille ne se tient jamais debout sur sa pointe, quoique la chose soit possible, à parler géométriquement.

III.

Mais que le centre de gravité du Vaisseau, au lieu d'être en I au-dessus de l'intersection g de ΓZ & γz , soit en G au-dessous de cette intersection ; la poussée de l'eau fera alors toujours prête à rétablir la situation horizontale, en cas qu'elle soit altérée ; parce que la direction sera toujours placée du côté de l'inclinaison par rapport au centre G. Il y aura donc alors une puissance qui maintiendra continuellement le Navire dans son niveau, ou au moins qui ne manquera pas de l'y faire revenir, pour peu qu'il s'en écarte, & qui augmentera selon les besoins. Ainsi on voit combien il est important de connoître le point d'intersection g , qui en même tems qu'il sert de limite à la hauteur qu'on peut donner au centre de gravité G, distingue le cas où le Navire conserve sa situation horizontale, de celui où il verseroit dans le Port même, sans pouvoir se

se soutenir un seul instant. Le point g qu'on peut, à juste titre, nommer *métacentre*, est le terme que la hauteur du centre de gravité G , ne doit pas passer, & ne doit pas même atteindre : car si le centre de gravité G étoit en g , le Navire n'affecteroit pas plus la situation horizontale que l'inclinée ; les deux situations lui seroient également indifférentes : & il seroit par conséquent incapable de se relever, lorsque quelque cause étrangère l'auroit fait panacher.

I V.

Si la carène étoit un demi-sphéroïde, ou un segment de sphéroïde retranché par un plan parallèle à l'axe, il ne seroit jamais difficile de trouver le point g , le *métacentre* ; puisqu'il seroit le centre des coupes du Vaisseau faites perpendiculairement à sa longueur, lesquelles seroient Fig. 55. exactement des cercles. Supposé que OEC (Fig. 55.) soit une de ces coupes, & que l'inclinaison soit portée assez loin pour que le segment aEb soit la partie submergée, la force qu'a l'eau pour soutenir les corps, & qui se réunira dans le centre de gravité γ de ce segment, agira selon la verticale γz qui est un rayon du cercle OEC , & ce sera la même chose dans toutes les autres situations. Il n'importe par conséquent dans ce cas particulier comment le centre de gravité G du Navire soit situé par rapport à la surface de l'eau ab en dessus ou en dessous ; pourvu que placé, comme il ne peut pas manquer de l'être, sur le rayon gE , il soit au-dessous du centre g du cercle qui forme la coupe OEC . Au reste, plus le centre de gravité G sera bas, plus il sera éloigné en cas d'inclinaison de la verticale γz , sur laquelle s'exerce la poussée de l'eau ; & plus cette poussée, quoique la même, sera ensuite placée avantageusement, ou appliquée à un bras de levier plus long, pour pouvoir rétablir la situation horizontale.

C H A P I T R E I I I .

Méthode de déterminer le Métacentre , ou le terme de la plus grande hauteur à laquelle on peut mettre le centre de gravité du Vaisseau.

I.

LORSQUE les coupes verticales de la carène faites perpendiculairement à la longueur du Navire , ne sont pas des cercles , il faut ordinairement se livrer à une assez longue discussion , pour pouvoir découvrir le métacentre , ce point au-dessous duquel il est nécessaire de mettre le centre de gravité du Navire. Comme la question se réduit à déterminer la situation des directions ΓZ & γz (Fig. 54.) sur lesquelles agit successivement la poussée de l'eau , il faut chercher d'abord combien les centres de gravité Γ & γ d'où partent ces lignes , sont éloignés l'un de l'autre. Γ comme nous l'avons déjà assez dit , est le centre de gravité de la carène AEB , considérée comme homogène , & γ de la partie qui est submergée , lorsque le Navire est incliné. L'intervalle entre les deux centres ne doit être qu'un infiniment petit , puisqu'il ne s'agit d'abord que de la première , ou plus petite inclinaison du Navire. La carène AEB & le solide aEb , ont une partie commune AFbE , dont le centre de gravité est en 3 : Ainsi le petit intervalle $\Gamma\gamma$ qui se trouve entre les centres de gravité $\Gamma\gamma$, ne vient que des deux autres parties BFb & AFa , dont l'une sort de l'eau , pendant que l'autre y entre ; & qui ont leur centre de gravité en 1 & en 2. Mais la carène AEB n'étant formée que de la partie commune AEbF , & de la petite partie BFb , son centre de gravité Γ doit être situé sur la ligne 3 1 qui joint les centres de gravité 3 & 1 de AEbF & de BFb ; & 1 Γ doit être à 3 Γ , comme

Fig. 54.

la partie commune $AEbF$ est au petit solide BFb qui s'é- Fig. 14
 leve de l'eau ; puisque toutes les parties d'un corps sont en
 équilibre autour de son centre de gravité, & que l'équi-
 libre ne consiste que dans cette proportion qui rend les
 momens égaux. Par la même raison le centre de gravité
 γ du solide aEb qui sert de carène pendant l'inclinaison
 du Navire, doit être sur la ligne 32 , qui joint les centres
 de gravité 3 & 2 de $AEbF$, & de AFa qui se plonge dans
 l'eau, lorsque le Navire s'incline. Mais comme les petits
 solides BFb & AFa sont de même solidité, & qu'ils le fe-
 roient également, quand même ils ne seroient pas des
 corps semblables, puisque le Navire occupe le même
 espace dans la Mer avant & après son inclinaison ; la par-
 tie commune $AEbF$ doit avoir même raport au solide
 BFb qu'au petit solide AFa ; & il doit y avoir aussi même
 raison de 2γ à 3γ , que de 1Γ à 3Γ . C'est-à-dire que la
 petite ligne $\Gamma\gamma$ qui est la distance des centres de gravité
 γ & Γ , divise les deux lignes 32 & 31 proportionnellement ;
 & cette petite ligne est donc parallèle à la surface de
 l'eau, ou à la distance 12 des centres de gravité 1 & 2 . Il
 est clair que ce sera encore la même chose si le Navire
 continuë à s'incliner ; pourvû que la partie infiniment pe-
 tite, qui se plonge d'un côté, soit toujours égale à celle
 qui s'élève de l'autre.

II.

De ce que la partie commune $AEbF$ est au petit solide
 BFb , comme 1Γ est à 3Γ , il suit aussi que la carène en-
 tiere AEB est au petit solide BFb , comme 31 est à 3Γ , &
 on aura donc encore cette proportion ; la carène entiere
 AEB est au petit solide BFb , comme 12 est à $\Gamma\gamma$. Ainsi on
 pourra trouver la distance $\Gamma\gamma$ des centres de gravité Γ &
 γ , aussi-tôt qu'on connoîtra la solidité de la carène AEB ,
 la solidité de la petite partie BFb , & la distance 12 des
 centres de gravité 1 & 2 des petites parties BFb & AFa ;
 puisque ce sont là les trois premiers termes d'une pro-
 portion, dont la distance $\Gamma\gamma$ est la quatrième.

K k ij

III.

Fig. 54. Comme la figure du Vaisseau est donnée, on connoît sa coupe horifontale faite à fleur d'eau. Je nomme x les parties de l'axe de cette coupe, ou les parties de la longueur du Navire, & y les demi-largeurs ou ordonnées: FB est la plus grande de ces demi-largeurs; je la nomme b ; & je désigne par e la quantité verticale & infiniment petite HB, dont le point B s'élève de l'eau, lorsque le Navire s'incline de l'autre côté. Je considère après cela que le petit solide BFb qui sort de l'eau, & dont BFb n'est qu'une coupe, est formé d'une infinité de petits triangles verticaux, qui étant arrangés tout le long de la longueur du Navire à la distance infiniment petite dx les uns des autres, sont paralleles aux triangles BFb, & lui sont semblables. Ces petits triangles ont les demi-largeurs y pour bases, & on trouvera leur petite hauteur par cette proportion, $FB = b \mid BH = e \parallel y \mid \frac{e}{b} y$; de sorte que $\frac{e}{2b} y^2$ produit de y par $\frac{e}{2b} y$ sera l'étendue de ces petits triangles. Je multiplie cette étendue par l'épaisseur infiniment petite dx , il vient $\frac{e}{2b} y^2 dx$ pour la solidité des petits triangles, ou plutôt des petits prismes triangulaires, dont le petit solide BFb est formé; & en intégrant on trouve $S \frac{e}{2b} y^2 dx$, ou $\frac{e}{2b} S y^2 dx$ pour la grandeur de ce petit solide qui sort de l'eau par l'inclinaison du Navire; c'est là une des choses qu'on cherchoit.

Après cela je multiplie l'élément $\frac{e}{2b} y^2 dx$ par $\frac{2}{3} y$; parce que le centre de gravité de chaque petit triangle répond aux $\frac{2}{3}$ de la base, ou de la demi-largeur y ; & j'ai $\frac{e}{3b} y^3 dx$ pour le moment de chaque petit prisme élémentaire par rapport au point F, ou par rapport à l'axe de la coupe du Navire faite à fleur d'eau: Et l'intégrale $\frac{e}{3b} S y^3 dx$

fera le moment du petit solide entier BFb . Ainsi il ne reste plus qu'à diviser ce moment total par la somme de tous les petits prismes triangulaires, ou par le petit solide entier BFb ; & le quotient $\frac{2Sy^3dx}{3Sy^2dx}$ marquera, selon le principe général de Statique, la distance F_1 du point F au centre de gravité 1 de ce solide BFb . On trouveroit de la même manière la distance F_2 , si la carène étoit un corps irrégulier; mais comme les deux flancs de nos Navires sont toujours égaux, on n'a qu'à doubler F_1 , & ou aura $\frac{4Sy^3dx}{3Sy^2dx}$ pour la distance 12 des centres de gravité 1 & 2 des deux solides BFb , & AFa .

Fig. 54:

IV.

Maintenant qu'on connoît la solidité $\frac{e}{2b} Sy^2dx$ de la petite partie BFb , & la distance $\frac{4Sy^3dx}{3Sy^2dx}$ des centres de gravité 1 & 2, il ne manque plus que de connoître la solidité de la carène pour pouvoir faire l'analogie indiquée à la fin de l'Article II. la carène AEB est à la petite partie BFb , comme 12 est à $\Gamma\gamma$. On trouvera toujours aisément par les moyens expliqués ci-devant, ou par les autres méthodes que fournit la Géométrie, cette solidité; & supposé que p la désigne, on aura donc $p \left| \frac{e}{2b} Sy^2dx \right| \frac{4Sy^3dx}{3Sy^2dx} \left| \frac{2eSy^3dx}{3bp} \right|$; ce qui montre que le centre de gravité γ de la partie aEb qui sert de carène pendant l'inclinaison du Navire, est éloigné du centre de gravité Γ de la carène AEb de la distance $\frac{2eSy^3dx}{3bp}$. Enfin si l'on fait attention que le petit triangle $\Gamma\gamma\gamma$ qui est formé par la distance $\Gamma\gamma$ des centres de gravité Γ & γ , & par les lignes ΓZ & γz , lesquelles servent de direction à la poussée de l'eau dans les deux situations du Navire, est semblable au petit triangle BFH , à cause que les trois côtés de l'un sont perpendiculaires aux trois cotés de l'autre, on aura cette der-

K k iij

Fig. 54. niere proportion; $HB = e$ | $FB = b$ | $\Gamma\gamma = \frac{2eSy^3dx}{3bp}$ | Γg . On en déduira cette formule, $\Gamma g = \frac{2Sy^3dx}{p}$, qui apprend la plus grande hauteur Γg que peut avoir le centre de gravité du Navire au-dessus du centre de gravité Γ de la carène.

Nous ne comptons pas comme une difficulté dans l'usage qu'on peut faire de cette formule, la nécessité où l'on est de trouver la valeur de l'intégrale Sy^3dx . Si l'on suppose que la tranche horizontale du Navire faite à fleur d'eau, ait 100 pieds de long, & que ses demi-largeurs mesurées à $12\frac{1}{2}$ pieds de distance les unes des autres, soient, en commençant par l'extrémité de la proue, de 1 pied, de 9, de 12, de $13\frac{1}{2}$, de $13\frac{1}{2}$, de $12\frac{1}{2}$, de $11\frac{1}{2}$, de $9\frac{1}{2}$, & de $7\frac{1}{2}$, on trouvera aisément par la Méthode expliquée dans le second Chapitre de la Section précédente, l'intégrale Sy^3dx : car on aura $1,729,1728,2460\frac{1}{8}, 2460\frac{1}{8}, 1953\frac{1}{8}, 1520\frac{7}{8}, 857\frac{7}{8},$ & $421\frac{7}{8}$ pour les neuf cubes y^3 ; & si on ajoute ensemble tous ces nombres, mais en ne faisant entrer dans l'addition que la seule moitié du premier & du dernier, & qu'on multiplie la somme par $12\frac{1}{2}$ qui est la distance d'une largeur à l'autre, il viendra 149006. Après cela il ne restera plus qu'à diviser les $\frac{2}{3}$ de ce nombre par la solidité p de la carène, pour avoir la hauteur Γg . Si cette solidité qu'on peut toujours trouver aisément, ou par les Méthodes précises que fournit la Géométrie, ou par les moyens mécaniques que nous avons donnés dans la Section précédente, est égale à celle d'un ellipsoïde de même longueur, de même largeur & de même profondeur, & que sa profondeur soit de 12 pieds; cette solidité sera de 16971 pieds cubiques, & on aura par conséquent $5\frac{85}{100}$ pieds pour la hauteur du métacentre g au-dessus du centre de gravité Γ de la carène. Supposé de plus que ce dernier centre soit plongé dans l'eau de $4\frac{1}{2}$ pieds ou des $\frac{3}{8}$ de la profondeur, comme cela se trouve dans l'ellipsoïde, le point g qui est le terme ou

la limite de la plus grande hauteur du centre de gravité du Navire , sera élevé d'environ 1 pied 4 pouces au-dessus de la surface de la Mer.

V.

On pourra apliquer notre règle avec la même facilité à tous les Vaisseaux : mais on viendra à bout de la rendre plus simple , jusques-là qu'on pourra l'employer souvent sans calcul , lorsque toutes les coupes verticales de la carène faites parallèlement à AEB , seront des figures semblables. Si dans ce cas particulier , K est le centre de gravité de la coupe AEB , centre qu'il faut ici bien distinguer de celui F de la carène entière , puisque ce dernier résulte de la disposition ou de l'assemblage de tous

Fig. 141

les autres : notre formule se changera en $Fg = \frac{2F\Gamma \times \overline{FB}^2}{3FK \times AEB}$, ou se réduira à cette simple analogie ; le produit de la coupe AEB par la quantité FK , dont son centre de gravité K est plongé dans l'eau , est au $\frac{2}{3}$ du cube \overline{FB}^3 de la demi-largeur FB , comme la quantité FΓ , dont le centre de gravité de la carène est enfoncé dans l'eau , est à la hauteur Γg du métacentre g au-dessus de ce dernier centre.

Les Lecteurs un peu versés dans la Statique , doivent voir déjà l'origine de ce Théoreme , ou de cette seconde règle , dans la conformité qu'il y a entre l'expression $\frac{2Sy^3 dx}{3p}$ de Γg , & celle qu'on sçait qu'a FΓ , qui ne doit être dans la circonstance présente , que $\frac{Sy^3 dx}{p}$ affectée de quelques constantes. En effet , on peut trouver l'étendue de toutes les coupes de la carène qui sont parallèles à AEB par cette analogie ; le quarré \overline{FB}^2 de la demi-largeur FB est à l'étendue de la coupe AEB , comme le quarré y^2 de toutes les autres demi-largeurs est à l'étendue $\frac{AEB}{\overline{FB}^2} \times y^2$ des coupes correspondantes. Et si après

Fig 54.

avoir multiplié cette étendue par l'épaisseur infiniment petite dx , qui est la distance d'une coupe à l'autre, pour avoir l'élément $\frac{AEB}{FB} y^2 dx$; on fait cette autre analogie

fondée encore sur la ressemblance des coupes, la demi-largeur FB est à FK , ainsi la demi largeur y des autres coupes est à la quantité $\frac{FK}{EB} \times y$ dont leur centre de gravité est au-dessous de la surface de l'eau, & qu'on multiplie l'élément $\frac{AEB}{FB} \times y^2 dx$ par cette quantité $\frac{FK}{FB} \times y$, on

aura $\frac{FK \times AEB}{FB^3} \times y^3 dx$ pour le moment de chaque élément

par rapport à la surface de l'eau, & l'intégrale $\frac{FK \times AEB}{FB^3}$

$\int y^3 dx$ sera le moment de toute la carène. Il faut ensuite, selon le principe de la Statique, diviser ce moment par la solidité p , & le quotient $\frac{FK \times AEB \times \int y^3 dx}{FB^3 \times p}$ marquera la

quantité $F\Gamma$, dont le centre de gravité Γ de la carène est enfoncé dans l'eau. Mais on voit en comparant cette valeur avec celle de $\frac{\int y^3 dx}{p}$ de Γg découverte ci-devant, qu'elles sont l'une à l'autre comme $\frac{FK \times AEB}{FB^3}$ est à $\frac{2}{3}$, ou

comme $FK \times AEB$ est à $\frac{2}{3} \times \overline{FB^3}$; & qu'ainsi on peut faire la proportion mentionnée ci-devant, $FK \times AEB \mid \frac{2}{3} \times \overline{FB^3} \parallel F\Gamma \mid \Gamma g$. De cette proportion on en déduit l'équation ou la formule $\Gamma g = \frac{\frac{2}{3} \times F\Gamma \times \overline{FB^3}}{FK \times AEB}$ dont on peut retrancher, si

on le veut, $F\Gamma$; & il viendra $Fg = \frac{\frac{2}{3} \times F\Gamma \times \overline{FB^3}}{FK \times AEB} - F\Gamma \times \frac{FK \times AEB}{FK \times AEB}$

qui exprime la plus grande hauteur que peut avoir le centre de gravité du Navire au-dessus de la surface de l'eau.

CHAP.

CHAPITRE IV.

*Application des formules précédentes à quelques figures,
& premièrement au Navire formé en parallélipède
rectangle.*

I.

A FIN de ne pas laisser ce que nous venons de dire, sans quelque application, proposons-nous d'abord la figure la plus simple de toutes; proposons-nous un Bâtiment formé en parallélipède rectangle, comme l'Arche de Noé, ou comme les deux Navires que fit bâtir au commencement de l'autre siècle Pierre Janisse de Horne, lesquels étoient peu différens des Vaisseaux Chinois. Toutes les coupes verticales de la carène seront non-seulement semblables, mais égales; ce qui sera cause que les centres K & F seront exactement les mêmes: D'un autre côté l'étendue de la coupe AEB (Fig. 56.) sera le produit de la largeur AB par sa hauteur FE; & introduisant ce produit à la place de AEB; & $\frac{1}{2}$ FE à la place de FK dans la formule

$$\Gamma g = \frac{\frac{2}{3} FK \times \overline{FB}}{\overline{AEB}}, \text{ on la changera en } \Gamma g = \frac{\frac{1}{3} FE \times \overline{FB}}{\frac{1}{3} FE \times AB \times FE} = \frac{\overline{FB}}{3FE}.$$

Ainsi pour trouver dans un pareil Navire la plus grande hauteur Γg à laquelle on peut mettre son centre de gravité au-dessus du centre de gravité ou du milieu F de la carène; il n'y a qu'à faire cette simple analogie, *le triple de la profondeur FE de la partie submergée est à sa demi-largeur FB, comme cette même demi-largeur est à la hauteur requise Γg .* S'il s'agissoit en particulier de l'Arche de Noé, dont la largeur étoit de 50 coudées, & qu'on suposât que ce Bâtiment enfonçoit dans les eaux du déluge de 10 coudées, on trouvera que le métacentre g étoit élevé de $20\frac{2}{3}$ coudées au-dessus du centre de gravité de la carène;

& par conséquent de $15\frac{1}{2}$ au-dessus de la surface de la Mer, & de $25\frac{1}{2}$ au-dessus du fond de la cale. Il étoit difficile que le centre de gravité se trouvât porté à une si grande élévation ; puisque toute l'Arche n'avoit que 30 coudées de hauteur, & qu'on eut sans doute l'attention de mettre en bas les choses les plus pesantes. Ainsi l'inclinaison de ce Bâtiment ne pouvoit jamais devenir trop grande ; il n'y avoit rien à craindre de ce côté pour les précieux restes du genre humain.

I I.

Déterminer le Métacentre, lorsque toutes les coupes de la Carène faites perpendiculairement à sa longueur, sont des triangles.

Si les coupes AEB de la carène (Fig. 54.), au lieu d'être
 Fig. 54. des rectangles, sont de simples triangles, comme nous croyons qu'il seroit avantageux qu'elles le fussent dans les Corvettes, il sera tout aussi facile de déterminer le métacentre. Ne considérons, pour plus de simplicité, qu'un seul triangle, & supposons qu'il est rectangle en E, ou que sa base AB qui se trouve dans la surface de l'eau, est double de sa hauteur FE ; son étendue AEB sera égale au quarré de AF ou de FB, & les centres K & Γ concourront dans le même point, & se trouveront au tiers de FE. Ainsi la formule $\Gamma g = \frac{2}{3} \times \frac{F\Gamma \times \overline{FB}}{FK \times AEB}$ se changera en $\Gamma g = \frac{2}{3} \times \frac{FB^3}{FB^2} = \frac{2}{3} FB$, ce qui nous apprend cette propriété singulière du triangle rectangle, que son métacentre est autant au-dessus de la surface de l'eau que son centre de gravité est au-dessous.

Si nous considérons donc maintenant une carène faite en conoïde ou en sphéroïde triangulaire, formé de triangles rectangles verticaux, arrangés, tout le long de son axe supposé horizontal, nous aurons autant de métacentres que de triangles, & tous ces points formeront une ligne courbe qui sera située précisément de la même manière

par rapport à la surface de l'eau, mais en dessus, que le sera en dessous la ligne courbe que forment tous les centres de gravité des triangles. Mais de même que de tous les centres de gravité il s'en forme un qui est le centre de gravité commun, tous les métacentres doivent aussi se réduire à un seul qui sera le métacentre commun, & qui doit être encore placé au-dessus de l'eau, comme l'autre point l'est au-dessous. Ainsi on voit cette vérité qui peut devenir très-importante, que, *lorsque toutes les coupes de la carène faites perpendiculairement à sa longueur, sont des triangles rectangles qui ont leur angle droit en bas, le métacentre est élevé au-dessus de la surface de l'eau, précisément de la même quantité dont le centre de gravité de la carène supposée homogène, est plongé au-dessous de la même surface.* Si tous les triangles donnent à la proue & à la poupe une figure exactement pyramidale, ou que toute la carène soit elle-même une pyramide quadrangulaire, dont le sommet est en bas, le métacentre dans ce cas particulier, sera donc élevé au-dessus de la surface de la Mer d'une quantité égale au quart de la profondeur de la carène, ou de la huitième partie de sa plus grande largeur.

III.

Trouver le Métacentre, lorsque le Navire est un ellipsoïde.

Nous prendrons pour troisième exemple, un Navire, dont toutes les coupes verticales de la carène faites perpendiculairement à sa longueur, sont des ellipses semblables, ou dont le corps entier de la carène est un ellipsoïde. On pourra souvent attribuer cette figure aux Vaisseaux, quoiqu'on ne le puisse pas faire également, lorsqu'il s'agit de la vitesse de leur sillage, ou de quelque autre propriété de leur mouvement, qui tient à des circonstances plus délicates. On doit cette différence à la relation étroite qu'il y a entre la recherche présente, & la détermination des centres de gravité. On sçait que ces

sortes de centres ne reçoivent que très-peu de changement, quoiqu'on change assez considérablement les figures auxquelles ils appartiennent.

Si on prend r & q pour exprimer le rapport du rayon du cercle au quart de sa circonférence, & qu'on cherche l'étendue AEB (Fig 54.) par rapport au rectangle de AB par EF , & les quantités FK & $F\Gamma$ par rapport à FE , on aura $AEB = \frac{q}{2r} AB \times FE = \frac{q}{r} FB \times EF$; $FK = \frac{2r}{3q} FE$, & $F\Gamma = \frac{1}{3} FE$; & introduisant ces valeurs dans la formule $Fg = \frac{\frac{1}{3} F\Gamma \times \overline{FB}^3 - F\Gamma \times FK \times AEB}{FK \times AEB}$, on la changera en cette autre $Fg = \frac{1}{3} \times \frac{\overline{FB}^2 - \overline{FE}^2}{FE}$, qui est, comme on le voit, extrêmement simple.

Il ne sera donc pas difficile, lorsque la carène sera un ellipsoïde, de déterminer le *métacentre* g , au-dessous duquel la sûreté de la Navigation exige que le centre de gravité du Vaisseau soit toujours. *Après avoir pris les trois huitièmes de l'excès du carré de FB , demi-largeur de la carène sur le carré \overline{FE}^2 de la profondeur, il n'y aura qu'à le diviser par la profondeur même, & il viendra au quotient la quantité Fg , dont le point g sera au-dessus de la surface de l'eau.* Ce point sera au-dessus de la surface de la Mer, lorsque Fg sera positive; ce qui arrivera, quand FB sera plus grande que FE , ou que la largeur de la carène sera plus grande que le double de la profondeur. Le point g sera au-dessous de la surface de l'eau, lorsque Fg sera négative, ou lorsque la demi-largeur FB sera moindre que la profondeur FE . Enfin, le point g sera dans la surface même de l'eau, quand Fg sera nulle; ce qui arrivera, lorsque la demi-largeur de la carène sera exactement égale à la profondeur, ou lorsque la coupe AEB sera un demi-cercle; & c'est ce qui est conforme à ce que nous savions déjà.

CHAPITRE V.

Recherches plus étendues sur les Métacentres , & sur la ligne courbe que forment ces points , lorsque le Navire s'incline.

MAIS quoique les Recherches précédentes soient utiles , nous ne devons pas dissimuler qu'elles ne fussent pas encore pour nous rassurer entièrement sur nôtre état ; parce que la solution que nous avons donnée , est limitée au cas trop particulier , dans lequel le Navire n'est exposé tout au plus qu'au choc irrégulier de quelques molécules d'eau ou d'air. S'il étoit sujet à l'action d'une puissance un peu considérable , il se pan-
cheroit d'une quantité finie , & il pourroit arriver que la direction γz (Fig. 54.) passât ensuite au-dessous du point g , Fig. 14 qui n'a été déterminée que dans le cas de l'inclinaison infiniment petite. Si après cela γz passoit aussi au-dessous du centre de gravité G , il est clair que la poussée verticale de l'eau travailleroit à faire incliner le Navire , & qu'il verferoit infailiblement. On n'a que trop souvent des exemples de ce dangereux accident. Certains Navires conservent bien leur situation horizontale tant qu'ils sont dans le Port : mais aussi-tôt que quelque puissance un peu forte , comme l'impulsion du vent sur les voiles , les fait pan-
cher d'une quantité un peu grande , ils ne se relevent que très-difficilement ; & ce qui est le comble du malheur , puisqu'il faut périr , ils continuent quelquefois à s'incliner , quoique la cause qui a fait commencer leur inclinaison , cesse d'agir. Ainsi il est absolument nécessaire , pour une parfaite sûreté de la Navigation , d'examiner si le métacentre ne descend pas , à mesure que le Navire perd sa situation horizontale.

On a prouvé à la fin du premier article du Chapitre III.

L l iij

Fig. 54. que le Navire ne peut pas s'incliner, sans que le centre de gravité de la partie submergée change de place, en avançant vers le côté de l'inclinaison, & que la petite distance des deux centres de gravité, est parallèle à la surface de l'eau. La démonstration qu'on a donnée est générale, & convient aussi-bien au cas où la carène est un corps irrégulier des deux côtés, que lorsqu'elle a une figure régulière. Il suit de-là que les centres de gravité de toutes les différentes parties submergées, lorsque le Navire est en différentes situations, sont sur une ligne courbe ΓH (Fig. 57 & 58.) dont chaque petite partie est parallèle à la surface de l'eau dans chaque situation. C'est-à-dire que lorsque le Navire est de niveau, & que AEB est la partie submergée, le centre de gravité de cette partie est en Γ , & la petite partie $\Gamma\gamma$ de la courbe ΓH , est parallèle à la surface AB de l'eau, comme on l'a démontré. Mais si le Navire, en s'inclinant de plus en plus, se plaçoit de sorte que AB se trouvât horizontale & dans la surface de l'eau, le centre de gravité Γ , après avoir passé par tous les points de la courbe ΓH , & avoir toujours avancé parallèlement à la surface de l'eau dans chaque situation, se trouveroit en H , & la petite partie de la courbe qui est en cet endroit, seroit encore parallèle à AB . Ainsi lorsque la poussée verticale de l'eau se réunit dans le centre de gravité H de la partie submergée AEB , & qu'elle s'exerce selon une ligne exactement verticale HP ; cette direction HP , qui est perpendiculaire à la surface AB de l'eau, le doit être aussi à la courbe ΓH au point H . C'est la même chose dans toutes les autres situations; de sorte que c'est un Théoreme général que *la poussée de l'eau agit toujours selon les perpendiculaires à la courbe qui est le lieu géométrique des centres de gravité dans lesquels elle se réunit*. Il est clair aussi que toutes ces directions doivent former en haut par leur concours une autre courbe NgM , qu'on peut nommer *métacentrique*, dont nous ne connoissons encore que le point g , & qui est la développée de la courbe ΓH .

Ainsi si on se propofoit un certain Vaisseau OEC (Fig. 56, 57 & 58.) & qu'on voulût ſçavoir ſi on y ſera en ſûreté, après avoir mis ſon centre de gravité au-deſſous du point g déterminé par la Méthode du Chapitre III. il faudroit chercher d'abord toutes les parties comme AEB , qui ſont égales en ſolidité à la carène AEB . Dans la ſuppoſition que la carène fût un parallélipede rectangle, comme dans la Figure 56, & pourvû que ſes angles inférieurs ne ſortiſſent pas de l'eau par la grandeur de l'inclinaifon, les lignes droites AB , AB , &c. qui retranchent les parties ſubmergées AEB , AEB , &c. de même ſolidité, paſſeroient toutes par le même point F : au lieu que ſi les deux flancs OE & CE , étoient des lignes droites qui formaſſent un angle en E au fond de la carène, les droites AB , AB , &c. qui retranchent des ſegmens de même étendue, ſeroient tangentes à une hyperbole, qui auroit les deux droites OE & CE pour Aſymptotes; & le point d'atouchement ſeroit au milieu de ces lignes AB , AB ; parce qu'il eſt toujours dans le centre de gravité des lignes droites, ou des plans qui retranchent les ſegmens de même étendue, ou de même ſolidité.

Fig. 56;
57, & 58.

On chercheroit enſuite le lieu $\Gamma\gamma H$ des centres de gravité de tous ces ſegmens, ou parties égales AEB , AEB , &c. ce qu'on pourroit faire en cherchant la diſtance de ces centres à la ligne EZ , & à une autre ligne perpendiculaire. Lorsque les flancs OE & CE ſeront des lignes droites, & que la courbe FF qui touche continuellement la ſurface de l'eau, ſera une hyperbole, la courbe $\Gamma\gamma H$ ſur laquelle ſe trouve tous les centres de gravité Γ , γ , H , &c. ſera auſſi une hyperbole. Pour le dire plus généralement; (car les flancs de la carène en lignes droites, n'ont cette propriété que parce qu'ils forment un angle qu'on peut regarder comme une hyperbole, dont l'axe déterminé eſt infiniment petit;) toutes les fois que OEC ſera une ſection conique, FF en ſera auſſi une aſymptotique de la première, & la courbe $\Gamma\gamma H$ en ſera encore

Fig. 56,
57 & 58.

une asymptotique des deux autres. Or la question sera réduite après cela à la Géométrie pure; puisqu'il ne s'agira que de chercher la situation des perpendiculaires à la courbe ΓH , & de découvrir les symptômes de sa développée, la *métacentrique* NgM , dont on connoît déjà le point g ; de sçavoir si cette développée monte ou descend, & de découvrir tous les points où elle coupe l'axe.

Nous n'insistons pas sur le cas trop simple, dans lequel la coupe OEC est un cercle; il est évident que le lieu des centres de gravité Γ, γ , est alors un cercle concentrique, & que la *métacentrique* se réduit à un seul point g . Mais le Problème se trouve déjà résolu dans le peu qu'on vient de dire pour toutes les figures dont il a été question. Si les deux flancs OE & CE de la carène sont des lignes droites qui forment un angle en E , ou plus généralement, si les deux flancs sont formés par une hyperbole, dont E est le sommet, les centres de gravité de toutes les parties submergées, formeront une hyperbole; & sur ce qu'on sçait de la développée de cette courbe, on peut assurer que la poussée de l'eau s'exercera sur des directions qui couperont l'axe EZ dans des points toujours plus élevés; & qu'ainsi cette puissance acquerra de plus en plus une plus grande force relative pour s'opposer à l'inclinaison, ou pour relever le Navire. La même chose arrivera lorsque la carène aura la forme d'un parallépipède rectangle, comme l'Arche de Noé. Car il est facile de s'assurer que le lieu des centres de gravité des parties submergées, est une parabole, dont on sçait que la développée va toujours en s'éloignant de l'axe & du sommet. Si la carène est un ellipsoïde, & que la coupe AEB faite perpendiculairement à sa longueur, soit un ellipse, dont le grand axe soit vertical, tous les centres de gravité des parties submergées seront aussi sur une ellipse, dont la développée sera encore disposée de la façon convenable. Mais comme le premier point g qui servira d'origine aux deux branches de la développée ou de la *métacentrique*, seroit souvent trop bas, on pourroit, au lieu de
donner

donner à la coupe AEB la forme d'une demi-ellipse, lui donner la figure d'un segment plus petit que la moitié. On seroit obligé de s'engager pour la plupart des autres figures, dans des discussions longues & difficiles : mais on peut se contenter presque toujours d'examiner la chose généralement.

La Méthode que nous avons expliquée dans le Chapitre III. pour trouver la hauteur du métacentre au-dessus du centre de gravité de la partie submergée de la carène, est d'ailleurs applicable dans tous les cas. Il n'y a toujours qu'à considérer le plan de la flottaison ou de la tranche du Navire faite à fleur d'eau, lorsque le Navire est incliné : l'axe ou le plus grand diamètre de ce plan, ne le partagera plus par la moitié, vu son irrégularité ; mais il faudra faire passer cet axe par le centre de gravité F du plan, afin que les deux petits solides, celui qui entre dans l'eau & celui qui en sort, & qui sont représentés par aFA & BFb , soient toujours égaux, & que la solidité de la partie submergée de la carène soit exactement la même, lorsque le Navire est incliné, & lorsqu'il l'est un peu plus. Si on désigne après cela par deux différentes lettres y & v , toutes les lignes AF & BF, qui sont comme les demi-largeurs de la carène des deux côtés de l'axe, les deux quantités désignées par Sy^3dx , ne seront plus égales ; pendant que cette expression sera bonne pour un des côtés de l'axe, on aura Sv^3dx pour l'autre : & si on fait le calcul tout au long, au lieu de $\Gamma g = \frac{2Sy^3dx}{3p}$, on trouvera $\Gamma g = \frac{Sdx \times y^3 + v^3}{3p}$; formule dans laquelle dx marque toujours les parties infiniment petites de la longueur du Navire, & p la solidité de la partie submergée entière.

Enfin il résulte principalement des réflexions précédentes, que tant qu'on ne travaillera pas à procurer aux Navires une situation constamment horizontale, en disposant leur mâture selon les règles que nous en avons données ailleurs, & que nous donnerons encore d'une manière succincte dans le Livre suivant ; il ne suffit pas, com-

M m

Fig. 57. me on le fait maintenant dans la Marine , de mettre l'endroit le plus gros du Navire à fleur d'eau , ou très-peu au-dessus : mais qu'on doit faire en sorte que la carène augmente de largeur , ou qu'elle conserve au moins la même jusqu'à l'endroit où elle enfonce dans l'eau , lorsque le Navire s'incline le plus. L'inclinaison peut aller jusqu'à 10 ou 12 degrez , & même plus loin dans les petits Navires , lorsque le vent charge les voiles avec force. Nous souhaiterions donc que la partie *AA* des flancs du Vaisseau qui est alors sujette à entrer dans la Mer , & qui est de 4 ou 5 pieds dans les Vaisseaux du premier rang , & de 3 ou 4 dans les Navires de deux à trois cens tonneaux , ou fût presque droite , ou qu'elle eût quelque saillie en dehors ; & que ce ne fût qu'au-dessus du point *A* que le flanc commençât à rentrer en-dedans , & le Navire à se retrecir. Par ce moyen la courbe *GH* deviendrait à peu près une hyperbole , ou au moins une parabole vers les deux extrémités , & les branches *gN*, *gM* de la métacentrique *NgM* qui en seroit la développée , iroient en montant au-dessus du métacentre *g*. Toutes les fois que l'inclinaison augmenteroit , le centre de gravité du Vaisseau s'écarteroit ensuite de la direction *HP* de la poussée de l'eau , pendant que cette direction s'éloigneroit en son particulier de ce centre par son progrès vers le côté de l'inclinaison ; & tout contribueroit donc à rendre plus long le bras du levier auquel est appliquée cette force avec laquelle l'eau pousse continuellement en haut. Nous convenons que le changement que nous indiquons , & auquel on se trouve également conduit par toutes les remarques qui tendent à perfectionner les autres parties de la construction , fera dans les commencemens perdre aux Vaisseaux beaucoup de leur grace aux yeux des Marins ; mais à cela on ne sçauroit que faire ; la Géométrie est une science impérieuse , & c'est à nous à trouver tout ce qu'elle nous prescrit.

C H A P I T R E VI.

Reconnoître si dans les Vaisseaux qu'on se propose de construire , le centre de gravité sera effectivement au-dessous du métacentre , ou du terme qu'on vient de déterminer.

SI on veut maintenant tirer la plus grande utilité possible pour la pratique de la Théorie expliquée dans les Chapitres précédens , il faut chercher par la discussion de toutes les parties du Vaisseau qu'on se propose de construire , la situation qu'aura son centre de gravité. Ce centre doit être nécessairement au-dessous du métacentre , ou au-dessous de ce terme qu'on connoît déjà , ou qu'on a au moins les moyens de connoître. Mais est-il sur qu'il y fera réellement ; & n'est-ce pas une chose trop importante pour ne pas l'examiner avec soin : au lieu d'attendre , comme on y a été réduit jusqu'à présent dans la Marine , que le bon ou le mauvais succès fit connoître si les mesures qu'on avoit prises , étoient justes ou fausses ? Il n'est plus question ici du Navire considéré comme un corps Géométrique ou homogène , ni de la pesanteur qu'il doit avoir par rapport au volume d'eau dont il occupera la place ; mais de celle qu'il aura effectivement par l'assemblage de ses membres , & de toutes les parties hétérogènes qui doivent le composer.

Le détail dans lequel il faut entrer , & qui paroît immense , peut d'abord effrayer ; mais outre qu'il n'a d'autre difficulté que sa longueur , il s'en faut beaucoup qu'il soit aussi long qu'on est porté à le croire à la première vûë. Toutes les parties du Vaisseau qu'on se propose de construire , sont comptées , leurs dimensions sont déterminées d'avance , & s'il faut des jours & des semaines à un grand nombre d'Ouvriers pour achever de donner à chacune la

forme qu'elle doit avoir, il ne faut, à l'aide d'un Plan, ou d'un Devis exact, qu'un instant au Géomètre exercé pour trouver la solidité & la pesanteur de ces mêmes pièces. Il peut mettre ensemble toutes celles qui sont de même espèce; joindre tous les baux, chercher en même tems la solidité de toutes les courbes, de tous les bordages; faire une somme de la pesanteur de tous les Canons de la même batterie. On peut s'aider dans tout cela des Tarifs qu'on a déjà dans tous les Ports: on examinera en même tems le centre de gravité de chaque pièce; & on réussira de cette sorte avec assez peu de travail, à résoudre un des Problèmes, dont la solution peut contribuer le plus à perfectionner la construction.

Mais on verra après tout, comme je viens de le dire, que la difficulté n'est pas si grande qu'elle paroît d'abord. C'est ce que j'ai reconnu, après en avoir fait l'essai sur une Frégate que j'ai vû construire au Havre-de-Grace, & ensuite sur différens Vaisseaux, en suposant les dimensions que je sçai qu'on leur donne le plus ordinairement. La Frégate dont je parle, nommée la Gazelle, avoit 80 pieds de quille, & 25 pieds de bau, ou de plus grande largeur. On avoit déjà commencé à la construire, lorsque je travaillai à l'examen dont je vais rendre compte: mais elle n'étoit encore, pour parler en terme d'art, formée qu'en *bois torts*; c'est-à-dire qu'elle n'avoit que ses membres, sans avoir de bau ni de bordage.

De la pesanteur de toutes les parties de la Frégate du Roy, nommée la Gazelle.

La quille de cette Frégate avoit 1 pied de largeur & $13\frac{1}{2}$ pouces de hauteur, ou d'épaisseur moyenne; ce qui, avec les 80 pieds de longueur, donne 90 pieds cubiques de solidité. Les deux parties de la contre-quille étoient de $29\frac{2}{3}$ pieds cubiques; l'étambot avoit 22 pieds de hauteur sur 12 pouces d'épaisseur & 15 pouces de largeur moyenne, ce qui faisoit $27\frac{1}{2}$ pieds cubiques. Le contre-étambot étoit de 11 pieds cubiques: La courbe qui sert

à lier cette pièce avec la quille, de 9 pieds; la lifse d'hourdy de $26\frac{1}{2}$. Les 10 montans d'écusson, dont la longueur moyenne étoit de 5 pieds sur 15 pouces en quarrés, étoient ensemble de 110 pieds cubiques, & les estains de 57. L'étrave étoit de 25 pieds cubiques: la contre-étrave de $11\frac{2}{3}$, & les huit alonges d'écubier étoient de 99 pieds. Enfin il y avoit 58 couples qui avoient 52 pieds de contour moyen, en comprenant les varangues, les genoux & les alonges; elles avoient 1 pied de largeur moyenne, & un demi-pied d'épaisseur; de sorte qu'elles étoient ensemble de 1508 pieds cubiques. Or toutes ces parties font 2005 pieds cubiques, & c'est dont la quantité de *bois net** qui entroit dans la construction de la Frégate dont il s'agit, lorsqu'elle n'avoit encore que ses membres, & qu'elle n'avoit ni bau ni bordage.

Il ne me restoit plus après cela, pour découvrir la pesanteur de la Frégate dans l'état où elle étoit, qu'à sçavoir le poids du pied cubique de bois de chêne. Savot a trouvé qu'il pese 60 livres; mais lorsque ce bois est bien nourri, il pese le plus souvent 66 ou 68 livres, & je me servirai de 66, parce que c'est le poids moyen que j'ai trouvé, en faisant peser plusieurs pièces dont je connoissois exactement la solidité. Les 2005 pieds cubiques pesoient donc 132330 livres; mais il faut encore ajouter 2029 pour le fer qu'on avoit employé en chevilles & en goujons, qu'on avoit eu le soin de peser exactement chaque fois. Ainsi c'est en tout 134359 livres, ou un peu plus de 67 tonneaux. Il est bon de sçavoir que tant que les Navires ne sont encore qu'en bois tords, il n'y a gueres qu'une livre ou une livre & demie de fer pour chaque pied cubique de bois; mais que comme on est ensuite obligé de le multiplier, en mettant une grande quantité de cloux pour tenir les bordages & les autres pièces, il se trouve à la fin de tout l'ouvrage, qu'il y a au moins deux livres ou deux livres & demie de fer pour chaque pied cubique. De sorte que celui qui entre dans la construction d'un Vaisseau, augmente au moins sa pesanteur

* Il faut de bois brut une moitié de plus; c'est-à-dire que pour tirer 2000 pieds cubiques de bois travaillé, il faut en employer environ 3000. Mais les Ouvriers commettent souvent sur cela de grands abus, parce qu'il est d'usage que les copeaux leur appartiennent.

d'une trentième partie. Ce n'est pas tout-à-fait la même chose en Angleterre ; car l'usage s'y est introduit d'employer beaucoup de chevilles de bois dans la construction de certains Navires.

Si l'on fait le même calcul pour des Vaisseaux de 120 & de 140 pieds de quille, on verra qu'ils sont plus pesans à proportion ; ce qui vient de ce que leurs membres & les autres parties sont non-seulement formées de plus grosses pièces de bois ; mais de ce qu'il y en a aussi un plus grand nombre. Si la proportion des cubes étoit exactement observée , un Vaisseau dont la quille est de 120 pieds , ne devoit avoir que 6767 pieds cubiques de bois tords , à proportion de la Frégate de 80 pieds de quille , qui en a 2005 ; mais il en entre plus de 8000 pieds dans la construction d'un pareil Vaisseau. La différence se manifeste encore davantage à la fin de tout l'ouvrage ; les Vaisseaux qu'on appelle du premier & du second rang , ayant toujours trois ponts , au lieu que les autres n'en ont que deux , & quelquefois qu'un ; ce qui doit certainement empêcher que leur pesanteur suive des degrés réglés. Ainsi quand même il seroit possible que les Constructeurs s'accordassent à donner les mêmes grosseurs aux pièces de bois , ce ne seroit toujours qu'en comparant les seuls Vaisseaux de même classe , qu'on pourroit juger de la pesanteur de l'un par celle de l'autre.

Mais pour revenir à notre Frégate , on peut supputer avec la même facilité la solidité & la pesanteur de toutes les autres pièces qui entrent dans sa construction , comme des baux , des courbes , des bordages , &c. & on sçaura donc de cette sorte la pesanteur qu'elle aura dans tous ses différens états , comme lorsqu'elle est prête à lancer à l'eau , ou lorsqu'elle est entièrement construite. Pour pouvoir la mettre à l'eau , il faut au moins que le bordage soit poussé jusqu'à la hauteur du pont. Elle pèsera alors au moins 100 tonneaux ; mais elle pourra peser davantage : car si les Constructeurs n'attendent jamais que leurs Navires soient entièrement achevés pour les

mettre à la Mer, il dépend d'eux de laisser plus ou moins d'ouvrage à faire. Enfin si on entre dans le détail de la solidité de toutes les pièces, on verra qu'il faut, pour achever la Frégate, environ 4180 pieds cubiques de bois, dont il y en aura environ une dixième partie de sapin. La pesanteur de ce dernier bois est beaucoup plus variable que celle de chêne, à cause du plus ou du moins de résine qu'il contient. Quelques personnes ont trouvé qu'il pèse 40 ou 44 livres le pied, au lieu que dans quelques expériences que j'ai faites, j'ai trouvé qu'il pesoit seulement 35 livres. J'ai pris le milieu : & il m'est venu 267212 livres ou $133\frac{1}{2}$ tonneaux pour la pesanteur des 3762 pieds cubiques de chêne & des 418 de sapin ; à quoi ajoutant une trentième partie pour la pesanteur du fer, il vient 138 tonneaux pour le poids total du Navire, lorsqu'il est entierement construit, & qu'il ne lui manque plus que sa mâture.

On peut sçavoir également la pesanteur des mâts, des vergues & de tous les agréils. La mâture est presque toujours de sapin, & on peut, pour la facilité des calculs, suposer que chaque mât est un tronc de conoïde parabolique, quoique les côtés soient pour l'ordinaire des portions d'ellipses. Le grand mât devoit avoir, selon les règles vulgaires, 63 ou 64 pieds de hauteur. Son diamètre au travers du pont, devoit être de $18\frac{1}{4}$ pouces, & à son sommet de $12\frac{1}{2}$ pouces. Si on cherche l'étendue des deux cercles qui ont ces diametres, & si prenant une étendue moyenne, on la multiplie par 63 pieds de longueur du mât, on verra que sa solidité est d'environ 87 pieds cubiques, & qu'il pèse environ 3480 livres. Faisant la même chose pour tous les autres mâts, & pour les vergues dont on peut considerer aussi chaque moitié comme un tronc de conoïde parabolique, dont une des bases n'a de diametre que le tiers de l'autre, on trouvera que toute la mâture pèse environ 8 tonneaux.

Toutes les manœuvres ont de même leur longueur & leur grosseur déterminées. Cette grosseur s'exprime ordi-

280 T R A I T É D U N A V I R E ,
 nairement dans la Marine par la circonference du cordage mesurée en pouces , & j'ai remarqué , comme je l'ai déjà dit dans le premier Livre , que la pesanteur moyenne en livres qu'a un pied de cordage , est égale à la vingt-cinquième partie du quarré de sa grosseur , ou que la pesanteur de 5 brasses (c'est-à-dire de 25 pieds) est égale au quarré même de la grosseur. Si un cordage a , par exemple , 10 pouces de circonference , une portion longue de 5 brasses , ou de 25 pieds , pesera 100 livres , qui est le quarré de 10 ; & une portion d'un pied pesera seulement 4 livres , qui est la vingt-cinquième partie de ce quarré. Cette règle qui est assez exacte pour tous les cordages qu'on fait en France , peut tenir lieu de Tarif , & si on l'applique à toutes les manœuvres de la Frégate que nous examinons , on trouvera que le poids de ses agréils , y compris les cables , est d'environ 20 tonneaux. Enfin , ajoutant encore 4 pour la pesanteur des ancres qu'on peut toujours connoître très-exactement , il viendra 170 tonneaux pour la pesanteur totale de la Frégate , sa mâture & tous ses agréils compris.

Détermination du centre de gravité de la même Frégate.

En même tems qu'on fera les calculs précédens , on pourra chercher la situation du centre de gravité. Il faut , pour découvrir cette situation par rapport à un certain terme , multiplier , comme nous l'avons déjà dit , la pesanteur de chaque partie par la distance particuliere de son centre de gravité à ce terme , & diviser la somme de tous ces produits ou momens , par la somme des pesanteurs.

Comme on prend ordinairement pour la hauteur de toutes les parties du Vaisseau , la quantité dont elles sont élevées au-dessus de la quille , on peut se servir de cette même hauteur pour découvrir le centre de gravité. On multipliera donc la pesanteur de chaque partie par sa hauteur au-dessus de la quille : on rassemblera le plus qu'on pourra , plusieurs parties ensemble , afin d'abrégier l'opération ,

tion ; on joindra , par exemple , tous les baux , & comme ils ne sont pas tous également élevés au-dessus de la quille , on prendra leur hauteur moyenne. Enfin faisant une somme de tous ces produits , il ne restera plus qu'à la diviser par celle des pesanteurs , & on aura la hauteur du centre de gravité. Je l'ai trouvée par cette méthode pour la Gazelle de $7\frac{1}{8}$ pieds , lorsque cette Frégate est sans agréil , & qu'on ne considère que son propre corps qui pèse 138 tonneaux.

En mâtant la Frégate , & en lui donnant toutes les manœuvres , le centre de gravité ne peut pas manquer de s'élever considérablement. Celui des cordages est au milieu de leur longueur : mais comme les mâts ne sont pas de même grosseur par leur sommet que par le bas , leur centre de gravité n'est pas tout-à-fait au milieu de leur hauteur ; & il doit se trouver aux $\frac{1}{3}$, s'il est permis de les considérer comme des troncs de conoïdes paraboliques , qui n'ont en haut que les $\frac{2}{3}$ du diamètre qu'ils ont en bas. On pourroit chercher séparément combien chaque partie des agréils fait changer le centre de gravité total , en partageant la distance de ce centre au centre particulier de chaque partie réciproquement aux poids. Mais il vaut mieux , ce me semble , employer la méthode générale , en cherchant toujours les momens par rapport à la quille prise pour terme. Tout le corps du Bâtiment pèse 138 tonneaux , & son centre de gravité est élevé de $7\frac{1}{8}$ pieds au-dessus de la quille ; son moment est donc de 989 : mais celui de la mâture & de toutes les manœuvres sera presque aussi grand , malgré leur peu de pesanteur , parce qu'elles sont extrêmement élevées au-dessus de la quille par rapport aux autres parties. Je trouve 925 pour leur moment particulier , lequel ajouté à 989 , donne 1914 pour le moment total qu'il ne reste plus qu'à diviser par la pesanteur du Vaisseau & de ses agréils , qui en tout est de 170 tonneaux , & il viendra $11\frac{4}{17}$ pieds pour la hauteur du centre de gravité du Navire , lorsqu'il est mâté , & qu'il a tous ses apparaux.

L'Artillerie pesera environ 20 tonneaux, & si on multiplie son poids par sa hauteur au-dessus de la quille, qui doit être à très-peu près de $15\frac{1}{4}$ pieds, on aura son moment 305 ; & si on l'ajoute à celui 1914 de la Frégate entière, il viendra 2219 pour la somme, qu'il ne restera plus qu'à diviser par celle des poids ; c'est-à-dire par 170 tonneaux, augmentés de 20. On trouvera à très-peu près $13\frac{1}{19}$ pieds pour la hauteur du centre de gravité au-dessus de la quille, lorsque la Frégate a son artillerie montée, & qu'elle a outre cela toutes ses manœuvres.

Cette hauteur de $13\frac{1}{19}$ pieds est sans doute trop grande, & la Frégate ne pourroit pas se soutenir dans cet état. C'est ce que je n'ai pas cru devoir me donner la peine de vérifier, en cherchant exactement la place du métacentre ; sçachant assez que la hauteur de $13\frac{1}{19}$ pieds du centre de gravité devoit diminuer très-considérablement par l'introduction de la charge ou du lest, qu'on ne pouvoit pas se dispenser de mettre dans la cale. La pesanteur de la Frégate considérée actuellement, est de 190 tonneaux, & si sa pesanteur totale, en comprenant sa charge ou son lest, doit être de 400 tonneaux, à proportion de la solidité entière de la carène ou de toute la partie submergée, ce qu'il est toujours facile de décider ; il faudra que la charge soit de 210 tonneaux pour achever de faire caler la Frégate jusqu'à l'endroit convenable. Le centre de gravité de cette charge sera plus ou moins haut, selon qu'elle occupera dans la cale plus ou moins de place, ou selon qu'elle sera d'une pesanteur spécifique plus ou moins grande. On sçaura l'espace qu'elle doit occuper, par la mesure qu'on aura prise des diverses parties de la carène, en retranchant l'épaisseur des flancs, & son centre de gravité pourra être élevé de 3 ou 4 pieds ; mais je prends 4 pieds, afin d'avoir le cas moins favorable. Le moment de la charge sera donc de 840 ; & si on l'ajoute à celui 2219 que nous avons trouvé en dernier lieu, on aura 3059 pour la somme générale de tous les momens particuliers, & la divisant par 400, somme de toutes les pesanteurs, il

viendra 7 pieds presque 8 pouces pour la hauteur requise au-dessus de la quille, du centre de gravité de la Frégate toute armée & toute équipée. Lorsque le centre de gravité de la charge sera plus bas, celui de tout le Vaisseau aura encore moins de hauteur ; & comme il est déjà pour le moins $4\frac{3}{4}$ pieds ou 5 pieds au-dessous du métacentre ou du terme de la plus grande hauteur , il est certain que la Frégate ne pourra pas manquer d'être stable , ni même d'avoir une grande force , pour persister dans sa situation horizontale. C'est d'ailleurs ce qui doit arriver infailliblement dans ces sortes de Navires, dont la pesanteur particulière n'est pas excessive , & qui peuvent en même tems recevoir un assez grand poids dans leur cale. Cette addition d'un grand poids par en bas, doit toujours faire descendre considérablement le centre de gravité du tout.

De la situation du centre de gravité dans les grands & dans les petits Navires, & de la sûreté qu'en reçoit la Navigation.

Mais cet avantage qu'ont les petits Navires, se perd peu dans les plus grands, non pas précisément à cause de leur grandeur ; car s'ils avoient des figures parfaitement semblables, & si leur pesanteur étoit aussi distribuée de la même manière, ils jouïroient toujours des mêmes avantages, & en acquerroient même de nouveaux, comme on l'a vû & comme on le verra encore dans la suite : mais les grands Vaisseaux perdent de leur avantage ; parce qu'on les charge beaucoup plus à proportion par en haut, tant par leur grosse artillerie, que par les ponts & les dunettes. Les Vaisseaux du premier rang de 110 ou 120 canons, de 48 pieds de plus grande largeur, & de 148 de quille, peuvent peser avec leur artillerie & tous leurs agréils, ou appaux, mais sans lest, deux mille trois ou quatre cens tonneaux. Ce poids se trouvera peut-être différent ; mais puisque le Constructeur sçait les dimensions

N n ij

qu'il veut donner à toutes les pièces, on peut toujours découvrir d'avance, aussi exactement qu'il est nécessaire, la pesanteur que doit avoir le Vaisseau. De ces 2300 tonneaux il y en aura 44 pour la mâture, autant pour les cables & les ancres; 28 ou 30 pour les manœuvres, & environ 300 pour l'artillerie. Toutes ces choses auront différens momens, non-seulement à raison de leurs différens poids, mais aussi à cause de leurs différentes élévations au-dessus de la quille. Ces momens feront environ 70000, & si on divise cette somme par 2300, on trouvera 30 ou 31 pieds pour la hauteur du centre de gravité du Vaisseau sans lest. Cette hauteur, vû les dimensions qu'on donne à la carène, est au moins trop grande de 6 à 7 pieds : Mais quoiqu'on la diminuë extrêmement par le lest, qui fait descendre le centre de gravité du tout, on ne peut gueres réussir à mettre ce centre qu'un ou deux pieds au-dessous du métacentre. Car si le volume d'eau déplacée, pese 3500 tonneaux, la pesanteur du lest doit être de 1200 tonneaux, supposé que la pesanteur particulière du Vaisseau & de ses agréils soit toujours de 2300 : on ne peut pas mettre une plus grande quantité de lest, sans faire caler le Vaisseau davantage, & au-delà du terme qu'on s'est proposé. Mais ce lest, dont le centre de gravité particulier sera au moins élevé de 6 pieds, ne portera pas le centre de gravité commun du tout au-dessous de 22 pieds de hauteur. Ainsi ce dernier centre ne sera que d'environ 2 pieds au-dessous du métacentre; au lieu qu'il est au moins deux fois plus bas dans les petits Navires.

Il ne coutera rien, en faisant les calculs que nous venons d'indiquer, de s'assurer s'il est avantageux de faire certains changemens à la disposition de la charge, ou à quelqu'une des autres parties qui forment le poids. Nous nous contenterons d'en donner un exemple très-simple, en examinant le choix qu'on peut faire des canons de différens calibres, pour armer les plus grands Vaisseaux. Supposons que la première batterie soit formée de chaque

côté de 15 canons de bronze de 36 livres de bale, & la seconde de 16 canons de 18 livres, & qu'on demande si l'on peut substituer dans les deux batteries du canon de 24 livres de bale. Il faudra sçavoir la pesanteur de ces canons, y compris leurs affuts; si ceux de 36 livres pèsent 6800, & 4200 ceux de 18, les 62 canons des deux batteries complètes pèseront 338400 livres, ou environ 169 tonneaux: au lieu que 62 canons de 24 livres, si on les suppose également de fonte, ne pèseront qu'environ 164 tonneaux. Ainsi il y a d'abord un peu à gagner dans la seconde disposition du côté du poids: nous disons un peu; car à peine le Vaisseau devenu plus léger par la moindre pesanteur de son artillerie, sortira-t-il de l'eau de 3 lignes.

Mais d'un autre côté le centre de gravité des deux batteries formées de canons de 24, sera plus haut: si une de ces batteries est élevée de 8 pieds au-dessus de l'autre, le centre de gravité des deux sera environ 4 pieds 2 pouces au-dessus de la première; au lieu que dans le premier cas, ou lorsque la batterie d'en bas sera formée de canons de 36, & la seconde de canons de 18, le centre de gravité ne sera élevé que de 3 pieds 2 pouces; comme on peut s'en assurer, en divisant la hauteur d'une des batteries au-dessus de l'autre, réciproquement à leur pesanteur particulière. Il pourroit donc y avoir une compensation par la différence de hauteurs dans les centres de gravité; & ce n'est qu'en poussant la discussion encore plus loin qu'on peut se décider. Si le Navire sortoit de l'eau d'une plus grande quantité que de trois lignes dans la seconde disposition, il faudroit calculer le changement que doit souffrir le métacentre; mais on peut négliger ici ce changement, & se contenter de chercher le moment de l'artillerie dans l'un & l'autre cas, par rapport au centre de gravité du Navire, ou ce qui revient au même, diviser encore réciproquement aux poids la distance des centres de gravité. On reconnoitra par l'examen qu'on en fera, que le centre de gravité commun du Vaisseau,

qui se trouve toujours porté un peu en haut par le poids de toutes les parties supérieures , est laissé environ un pouce plus bas dans la première disposition ; & que les batteries de 36 livres de bale & de 18 , quoique plus pesantes , sont donc préférables pour la sûreté de la Navigation aux deux de 24.

Ce n'est pas après tout la disposition qui porte le centre de gravité du Vaisseau le plus au-dessous du métacentre , qui est absolument la meilleure. Il faut que le centre de gravité commun , soit au-dessous du métacentre , & soit considérablement au-dessous : c'est une première condition qui est indispensable. Mais la stabilité du Vaisseau dépendant aussi de sa pesanteur , a pour *exposant* le produit de cette pesanteur multipliée par la quantité , dont le centre dans lequel elle se réunit , est au - dessous de l'autre point. Pendant que le Navire est parfaitement de niveau , sa pesanteur ne fait aucun effort pour le maintenir dans cet état : mais elle commence à agir aussi-tôt que l'inclinaison commence ; & plus le centre de gravité sera au-dessous du métacentre , plus le bras de levier auquel elle sera appliquée , sera long , & plus elle sera donc située avantageusement : en même tems que plus elle sera grande par elle-même , plus elle sera aussi capable de travailler avec efficacité. Ainsi on peut trouver quelquefois un avantage réel à situer le centre de gravité un peu plus haut. On trouve cet avantage toutes les fois qu'on peut augmenter en même tems la pesanteur totale du Vaisseau dans un plus grand rapport. Si le Vaisseau du premier rang qui pèse 3500 tonneaux , a son centre de gravité deux pieds au-dessous du métacentre , le moment ou la force relative avec laquelle cette pesanteur s'oppose à l'inclinaison , sera 7000 , ou pour mieux dire , sera proportionnelle à 7000 , produit de 3500 par 2 pieds. Mais si en élevant le centre de gravité , on ne le met que $1\frac{4}{7}$ pieds au-dessous du métacentre , & qu'on augmente en même tems la pesanteur totale jusqu'à la rendre de 4000 tonneaux , le moment sera ensuite de 7200 ; & la

seconde disposition sera préférable à cet égard à la première : elle rendra le Vaisseau plus stable, dans le même rapport que 7200, est plus grand que 7000.

Il sera toujours facile de cette sorte, en mettant à l'épreuve du calcul la figure & les proportions qu'on se propose de donner à un Navire, de prévoir quel sera le succès de l'entreprise, & de s'épargner toute la peine, toute la dépense & toute la honte d'un travail imprudent & inutile. Le Constructeur ne sera plus sujet à manquer son ouvrage ; au moins de cette manière grossière qui deshonne la Marine, & qui ne rend pas simplement les Vaisseaux mauvais voiliers ; mais qui les condamne à ne jamais sortir du Port. Maintenant que nous sommes en état de connoître le mal, il faut tâcher d'y remédier ; ou en changeant quelque chose dans les dimensions que nous aurons trouvées mauvaises, ou en indiquant d'une manière immédiate & absolue, celles qui sont les meilleures.

CHAPITRE VII.

Du changement qu'apportent à la situation du Métacentre les divers changemens qu'on peut faire à la Carène.

I.

POUR juger des changemens que souffre la hauteur du métacentre, lorsqu'on altere la figure de la carène, il faut qu'on se rappelle ou les principes établis dans le Chapitre III. de cette Section, ou qu'on jette les yeux sur la formule $Fg = \frac{\int y^3 dx}{p}$ de l'Article IV. de ce même Chapitre. La première Remarque qu'elle suggère, c'est que la hauteur Fg du métacentre g (Fig.

Fig. 54. 54) au-dessus du centre de gravité Γ de la carène, ne dépend que de la grandeur p de la carène, & de la figure de la tranche horisontale faite à fleur d'eau, dont y désigne les ordonnées, & x les parties de l'axe, ou de la longueur du Vaisseau. C'est-à-dire qu'on peut donner une infinité de diverses formes à la carène, sans que la hauteur Γg change en aucune façon. Il suffit pour cela de conserver à la carène toujours sa même solidité, quoiqu'on change sa figure; & de ne point toucher du tout à la coupe horisontale faite à fleur d'eau.

Notre formule nous apprend cette vérité, & on la voit aussi fort aisément sans le secours d'aucune expression algébrique. Aussi-tôt qu'on ne change ni la solidité de la carène, ni la figure de la coupe horisontale faite à fleur d'eau, le même rapport subsiste toujours entre $\Gamma 1$ & $\Gamma 3$, de même que celui qui est entre $\gamma 2$ & $\gamma 3$, & celui qui est entre $1 2$ & $\Gamma \gamma$. Ainsi la distance des centres de gravité Γ & γ reste la même; & la hauteur Γg où vont se couper les directions ΓZ & γz , ne doit donc point aussi changer. Mais il faut remarquer expressément que ce n'est que la hauteur respective du métacentre g par rapport au centre de gravité Γ de la carène, qui ne varie pas. Car selon les diverses formes qu'on donne à la carène, son centre de gravité Γ doit se trouver plus ou moins haut; & puisque le point g conserve toujours la même hauteur au-dessus de ce centre, il doit recevoir précisément dans sa hauteur absolue les mêmes changemens. Comme on ne peut pas donner à la coupe AEB , dont l'étendue est déterminée, de figure qui élève plus son centre de gravité Γ , que celle d'un rectangle, il résulte que c'est cette même figure, & celles qui en approchent davantage, qui élèvent le plus le métacentre g , & qui donnent par conséquent la liberté de mettre plus haut le centre de gravité du Navire, de ses agréils & de tout ce qu'il contient.

II.

Lorsqu'on ne change que la longueur du Vaisseau sans toucher à ses autres dimensions, le centre de gravité Γ & le point g , doivent rester dans les mêmes endroits : comme cela se voit assez évidemment, nous ne nous y arrêterons pas. Mais nous allons examiner ce qui doit arriver, lorsqu'on change proportionnellement toutes les largeurs du Navire, sans changer ni sa longueur, ni sa profondeur.

III.

Lorsqu'on ne touche qu'aux simples largeurs du Vais- Fig. 541
seau, & qu'on les change toutes proportionnellement, le centre de gravité Γ de la carène, qui nous sert de terme pour juger des changemens que souffre le métacentre g , doit rester dans le même endroit, puisque toutes les coupes horizontales de la carène, en augmentant ou en diminuant proportionnellement, conservent entr'elles les mêmes rapports. Mais la distance 12 des centres de gravité 1 & 2 des solides BFb & AFa , doit recevoir un changement proportionnel à celui que souffre la largeur AB ; & aussi-tôt que la distance 12 est sujette à changer, le petit intervalle $\Gamma\gamma$ le doit être également & en même rapport, de même que la hauteur Γg : c'est-à-dire que ces quantités doivent toutes augmenter ou diminuer proportionnellement à la largeur AB . D'un autre côté, lorsqu'on augmente ou qu'on diminue la largeur AB , on ne fait changer la solidité de la carène que dans le rapport simple de la largeur : au lieu que les petits solides BFb , AFa , changent comme le quarré : parce que la petite hauteur BH varie en même raison que FB . Or c'est la même chose quant au rapport, que si la solidité de la carène demouroit constante, & que celle des deux petits solides BFb , & AFa , ne variât que dans la raison simple des largeurs; & il suit de-là que le petit intervalle 3 Γ , doit être plus ou moins grand, eu égard à Γ_1 dans la même

O o

Fig. 54. raison ; ce qui entraîne le même changement dans $\Gamma\gamma$, & ensuite dans Γg . Il est donc évident que Γg qui est toujours proportionnelle à $\Gamma\gamma$, change par deux endroits. Elle change, parce que $\Gamma\gamma$ est plus ou moins grande par rapport à 12, selon qu'on augmente ou qu'on diminue la largeur du Navire ; & elle change en second lieu, parce que l'intervalle 12 est lui-même plus ou moins grand dans le même rapport.

Ainsi la hauteur Γg , au lieu de suivre le rapport simple des largeurs, doit suivre celui de leurs quarrés : & il suffit par conséquent d'apporter un assez léger changement aux largeurs de la carène, pour en produire un très-grand dans la hauteur, où l'on peut mettre ensuite le centre de gravité du Navire. S'il étoit possible d'augmenter 2 ou 3 fois la largeur, on pourroit mettre après cela le centre de gravité 4 ou 9 fois plus haut : c'est par cette raison que le soufflage ou le renflement de la carène, non pas celui qui est égal par tout, mais celui qui augmente principalement la largeur par en haut, est capable d'effets si marqués. La formule $\Gamma g = \frac{\int y^2 dx}{p}$ indique la même chose ; & ce que la Théorie enseigne ici, les Constructeurs, sans en sçavoir la raison, l'ont éprouvé une infinité de fois.

I V.

Enfin, si sans toucher aux largeurs, ni à la longueur de la carène, on ne fait que changer sa profondeur ; si on la diminue, par exemple ; le centre de gravité Γ s'élèvera, puisque $F\Gamma$ diminuera en même tems & en même raison que FE ; & outre cela le métacentre g s'élèvera encore par rapport au centre Γ . La diminution de la profondeur FE fera diminuer la solidité de la carène proportionnellement : Mais le petit solide BFb qui n'aura pas changé, étant ensuite plus grand par rapport à la carène, les petites distances 3Γ & 3γ seront plus grandes par rapport à $\Gamma 1$; d'où il suit que $\Gamma\gamma$ sera aussi plus grande de

même que Γg . On voit donc qu'outre l'élevation que reçoit le centre Γ , lorsqu'on diminue la profondeur de la carène, la hauteur du métacentre g au-dessus de ce centre, augmente encore en même raison que la profondeur de la carène est diminuée.

On peut représenter aisément, & d'une manière générale, les diverses hauteurs du métacentre au-dessus du fond de la carène pour tous les divers creux où toutes les diverses profondeurs, par les ordonnées d'une hyperbole comparée à un de ses diamètres. Si on élève une perpendiculaire EG (Fig. 59.) au bas de la verticale FE , qui marque la profondeur du Vaisseau, & que faisant EM égale à la hauteur $E\Gamma$ du centre de gravité Γ , & EG égale à la hauteur Eg du métacentre, ou MG égale à Γg , on tire la droite FM , & qu'on trace par le point G l'hyperbole gGg entre les deux droites FB & FM , prises pour asymptotes, toutes les autres ordonnées, comme eg parallèles à EG , marqueront la hauteur du métacentre au-dessus du fond e de la carène, pour toutes les diverses profondeurs Fe ou FE qu'on donnera au Vaisseau. Il est bien évident que comme le centre de gravité Γ dans ses changemens de place, partagera toujours les profondeurs EF ou eF dans le même rapport, lorsqu'on les diminuera ou qu'en les augmentera, les lignes em qui ont toujours même rapport avec Fe , que EM avec FE , seront égales aux hauteurs de ce centre de gravité au-dessus du fond e . Mais puisque la hauteur du métacentre au-dessus de ce centre augmente en même raison que la profondeur de la carène diminue, il n'est pas moins clair qu'aussitôt que la ligne MG représente la hauteur Γg , ou lui est égale, toutes les autres lignes mg interceptées entre l'asymptote FM & l'hyperbole gG , seront continuellement égales aux hauteurs du métacentre au-dessus du centre de gravité; & il résulte de tout cela que les lignes entières eg seront égales aux hauteurs du métacentre au-dessus du fond de la carène; puisque ces hauteurs sont formées de celles du centre de gravité, & de celles du métacentre au-dessus du centre de gravité.

O o ij

Fig. 59.

Si l'on veut exprimer maintenant les hauteurs du métacentre au-dessus de la surface de l'eau, il n'y aura qu'à retrancher des lignes EG , eg , &c. qui marquent les hauteurs au-dessus du fond du Vaisseau, les parties EN , en , &c. égales aux profondeurs mêmes FE , Fe ; & les restes NG , ng seront égaux aux hauteurs du métacentre au-dessus de la surface de la Mer. On retranchera tout d'un coup toutes ces parties, en tirant la droite FN , qui coupe l'angle droit BFE par la moitié. Le point h , où cette ligne coupera l'hyperbole, indique la profondeur Fe , qu'il faut donner à la carène, pour que le métacentre se trouve précisément dans la surface de l'eau. Lorsque les profondeurs seront plus grandes, les quantités ng seront négatives; ce qui marquera que le métacentre sera enfoncé dans l'eau: au lieu que pour peu que les profondeurs soient moindres, le métacentre s'élèvera au-dessus de la surface de la Mer; & s'élèvera même à une hauteur infinie, si l'on diminue toujours de plus en plus la profondeur de la carène.

C H A P I T R E V I I I .

Des changemens que reçoit la force qu'a le Navire pour rester de Niveau, lorsqu'on change les dimensions de sa Carène, & premierement lorsqu'on change sa longueur.

I.

NOUS n'avons examiné jusqu'ici que les seuls changemens auxquels est sujette la hauteur du métacentre; mais il n'est pas difficile de découvrir ceux qu'il est beaucoup plus important de connoître, que souffre la *stabilité* même du Vaisseau, cette force avec laquelle il persiste à rester dans le même état, ou plutôt avec la-

quelle il travaille à retourner à sa situation horifontale , lorsqu'on la lui a fait perdre. Suposé que sans alterer ni la largeur , ni la profondeur de la carène , on ne change que sa seule longueur , il est évident que *la stabilité* doit changer dans le même raport : L'alongement ou le racourcissement de la carène , n'obligera en aucune façon à changer la distribution de la pesanteur : il faudra seulement rendre cette pesanteur plus ou moins grande , ou charger le Navire d'un plus grand ou d'un moindre poids , à proportion des diverses espaces que la carène occupera dans la Mer : Le centre de gravité ne montera donc ni ne descendra , & le métacentre restera aussi toujours dans la même place : ainsi le bras de levier auquel la pesanteur du Navire sera appliquée , sera toujours exactement de même longueur. Il est bien vrai qu'on ne doit pas prendre pour le levier toute la quantité dont le centre de gravité est au-dessous du métacentre. Dans la figure 55 , par exemple , on voit clairement que la poussée de l'eau qui s'exerce selon la direction γg , n'est appliquée qu'à la distance TG du centre de gravité G , ou qu'elle n'agit qu'avec le bras du levier TG , pour relever le Navire , & le restituer dans la situation horifontale. Mais puisqu'il ne s'agit ici que d'une certaine inclinaison déterminée , & la même dans tous les Navires , dont on veut comparer *la stabilité* , la distance TG est toujours la même partie de Gg , & on est par conséquent autorisé à ne considérer que Gg. Il suit de tout cela que le moment de la pesanteur totale , ou sa force relative , ou pour le dire encore autrement , la stabilité du Navire , ne recevra ici de changement que parce que la pesanteur sera plus ou moins grande : & puisque cette pesanteur est proportionnelle à la longueur de la carène , aussi-tôt que les autres dimensions sont les mêmes , la force relative dont il est question , sera aussi proportionnelle à ces longueurs.

Il n'importe , pour l'exactitude de cette proposition , que la pesanteur totale se réunisse dans un point plus haut ou plus bas que le centre de gravité de la carène ;

294 T R A I T É D U N A V I R E ,
 pourvû que lorsqu'on allonge ou qu'on raccourcit le Navire, le centre de gravité commun (comme cela est très-naturel) ne monte ni ne descende : car le moment ne recevra toujours alors tout son changement que de la seule force absolue, ou de la pesanteur. Ainsi le Théoreme est général : *dans les Navires qui ne diffèrent que par leurs longueurs, les stabilités sont en même raison que ces longueurs.*

I I.

Du changement que reçoit la stabilité des corps flottans, lorsqu'on change leurs profondeurs.

Si au lieu de changer la longueur, on ne change que les profondeurs du Navire, sans toucher à ses largeurs, il faudra rendre encore la pesanteur plus ou moins grande; & outre cela elle sera appliquée à un levier différent; parce que le métacentre montera ou descendra par rapport au centre de gravité de la carène, dans lequel nous supposons d'abord que tout le poids se réunit. Mais il se fera toujours une exacte compensation dans le produit, & le moment ne changera pas; parce que si la pesanteur est plus grande, la hauteur du métacentre au-dessus du centre de gravité sera plus petite dans le même rapport. Pour obtenir le moment, il faut multiplier la pesanteur totale p par la quantité $\Gamma g = \frac{\frac{2}{3}Sy^3dx}{p}$, dont le centre de gravité Γ est au-dessous du métacentre; mais il viendra la quantité $\frac{2}{3}Sy^3dx$, qui ne dépend, comme on le voit, que des seules dimensions de la coupe horizontale faite à fleur d'eau, dont y désigne les largeurs, & dx les petites parties élémentaires de la longueur. Qu'on change donc la figure de la carène ou de tout le Vaisseau, pourvû que sa première tranche faite à fleur d'eau, reste la même, & que sa pesanteur totale se réunisse dans le centre de gravité de la carène, la force qu'aura le Navire pour conserver sa situation horizontale, ne sera point sujette à changer, elle sera toujours égale à $\frac{2}{3}Sy^3dx$.

Si l'expression algébrique de la hauteur Γg , nous offre à la première vûe la vérité de ce Théoreme, il est tout aussi facile d'en appercevoir la cause ou la raison physique. Supposé que sans toucher aux largeurs AB (Fig. 54.) qu'à la carène par en haut, ni à sa longueur, on change par en bas sa solidité ou capacité AEB , & qu'on l'augmente du double ou du triple; elle sera ensuite deux ou trois fois plus grande par rapport aux petits solides FBb & AFa , qui entrent dans l'eau ou qui en sortent par l'inclinaison, & qui ne souffriront aucun changement: les deux centres de gravité Γ & γ des parties submergées, lorsque le Navire est de niveau, & lorsqu'il est incliné, seront donc deux ou trois fois plus voisins l'un de l'autre; la hauteur Γg sera en même tems deux ou trois fois plus petite; & par conséquent la pesanteur totale p , qui est proportionnelle à la solidité AEB , formera toujours le même produit, lorsqu'on la multipliera par cette hauteur Γg qui sert de levier, & qui change toujours en raison inverse. Ainsi il est démontré *que les Vaisseaux de figures & de solidités, ou de pesanteurs différentes, mais dont la tranche horizontale faite à fleur d'eau, est la même, ont toujours exactement la même stabilité, aussi-tôt que leur pesanteur se réunit dans le centre de gravité de leur carène, supposée homogène.*

Nous ferons remarquer en passant que ce principe qui peut avoir des usages fort étendus, nous donne lieu de trouver une expression géométrique fort simple de la stabilité de tous les corps flotans, dont nous n'avons encore qu'une expression algébrique. Lorsque nous ne nous proposons dans l'Article IV. du Chapitre III. que de découvrir la hauteur du métacentre, & que nous cherchions d'abord par approximation la valeur de l'intégrale $\frac{2}{3} Sy^3 dx$, nous trouvions sans y penser la stabilité même du Navire; & il ne restoit plus qu'à multiplier la quantité trouvée par 72 livres, qui est le poids du pied cubique d'eau marine, pour l'évaluer entièrement en mesures ordinaires & connues. Nous pouvons maintenant en obtenir

Fig. 54. avec facilité une expression plus simple, ou au moins plus propre à fixer nos idées. Puisque cette force ne dépend aucunement de la figure qu'à la carène dans toute sa partie inférieure, nous n'avons qu'à former par la révolution de la coupe faite à fleur d'eau un demi-sphéroïde; & la force qu'il aura pour conserver sa situation horizontale, sera exactement la même que celle de tous les autres corps qui n'auront rien de commun avec le sphéroïde, que la première tranche faite à fleur d'eau. Le métacentre de ce dernier solide sera exactement dans son axe, & sa stabilité sera exprimée par sa solidité multipliée par la quantité dont son centre de gravité sera au-dessous de l'axe, ou au-dessous de la surface de l'eau. Les autres corps pourront avoir leurs métacentres plus ou moins élevés; mais leur pesanteur en récompense, nous le disons encore, sera moindre ou plus grande, précisément en raison inverse; & le moment total sera par conséquent toujours le même. Il est donc clair que le sphéroïde que nous venons de spécifier, fournit un moyen fort simple de trouver pour tous les corps flottans la force de permanence que nous examinons, sans qu'il soit nécessaire d'avoir égard à l'irrégularité de leur figure par en bas, ni de passer par la recherche de leur métacentre; & on pourroit passer aisément au contraire, si on le vouloit, à la connoissance de ce point par celle de leur stabilité: Il suffira toujours de connoître la solidité de ce demi-sphéroïde que nous leur substituons, de même que la quantité dont son centre de gravité est au-dessous de son axe: la stabilité de ce corps sera la stabilité de tous les autres.

Au lieu de substituer un sphéroïde à la place des solides dont on veut avoir la stabilité, on peut aussi leur substituer un corps dont toutes les coupes verticales, perpendiculaires à sa longueur, soient des triangles rectangles, dont l'angle droit est en bas. Ce solide, comme nous l'avons montré dans le Chapitre IV. aura toujours son métacentre autant élevé au-dessus de la surface de

de l'eau, que son centre de gravité sera au-dessous de cette surface. Ainsi il n'y aura qu'à multiplier sa solidité par la quantité, dont son centre de gravité est enfoncé dans l'eau, & prendre le double du produit, pour découvrir sa stabilité, & en même tems celle de tous les autres corps qui ont par en haut précisément les mêmes largeurs. Fig. 14.

Mais nous ne sçaurions avertir trop expressément que les expressions précédentes de cette force, ne sont exactes, que lorsque la pesanteur du Navire se réunit exactement dans le centre de gravité Γ de la carène, ou de la partie submergée, supposée homogène; & que si elle se réunissoit dans un point plus haut ou plus bas, la force dont il s'agit, seroit moindre ou plus grande de tout le produit de la pesanteur totale, ou de la solidité de la carène, par la quantité dont un des centres de gravité seroit au-dessus de l'autre. Supposé que K soit le centre de gravité commun de tout le Vaisseau, il faudra pour avoir la stabilité ou le moment qui la constitue, multiplier la pesanteur totale p par $Kg = \Gamma g + \Gamma K$. Ainsi cette force sera alors formée de deux parties, dont l'une $\frac{2}{3} Sy^3 dx = p \times \Gamma g$ sera toujours constante, quelque figure qu'ait la carène par en bas, & sera égale à la stabilité du demi-sphéroïde formé par la révolution de la coupe horizontale faite à fleur d'eau. L'autre partie $p \times \Gamma K$, peut être au contraire plus ou moins grande; parce que la pesanteur totale p sera différente, & parce que l'intervalle ΓK entre les deux centres de gravité ne sera pas la même.

On voit donc en général, que plus on augmentera la profondeur FE de la carène, plus la force relative dont il est ici question, $\frac{2}{3} Sy^3 dx + p \times \Gamma K$ deviendra grande, à cause de sa seconde partie; & que l'excès deviendroit même infini, si on augmentoit infiniment la profondeur. Mais la loi selon laquelle se fait l'augmentation, ne peut pas être ramenée à des rapports simples; à cause de l'hétérogénéité de toutes les diverses parties du Navire & de celles de sa charge.

P p

III.

Du changement que souffre la stabilité des corps flottans ; lorsqu'on change leurs largeurs.

Fig. 54

Supposons maintenant que sans toucher aux autres dimensions de la carène, on ne change que ses largeurs, & toutes proportionnellement. La force qu'a le Navire pour rester de niveau, doit alors changer par deux endroits dans les cas mêmes où la pesanteur totale se réunira exactement dans le centre de gravité de la carène. Elle changera, parce que la force absolue, la pesanteur totale sera différente, & plus ou moins grande précisément en même raison que les largeurs : elle changera en second lieu, parce que le bras de levier auquel cette force sera appliquée, sera plus ou moins long, puisque, comme nous l'avons vû dans l'Article III. du Chapitre précédent, la hauteur du métacentre au-dessus du centre de gravité de la carène, croît ou décroît comme le quarré des largeurs, lorsque toutes les autres circonstances sont les mêmes. Or il suit de-là que la stabilité change en raison triplée ou comme les cubes des largeurs, puisque ces cubes doivent être proportionels aux pesanteurs qui changent comme les largeurs, multipliées par la longueur du bras de levier qui change comme le quarré. Si, sans alterer les autres dimensions, on rend, par exemple, toutes les largeurs deux fois plus grandes; la pesanteur totale sera double, & le métacentre sera quatre fois plus haut, ce qui donnera au Navire huit fois plus de force pour persister dans son état, conformément au raport des cubes.

On voit la même vérité en jettant les yeux sur la formule $\Gamma g = \frac{\frac{1}{2} S y^3 dx}{p}$, ou sur l'expression, $\frac{1}{2} S y^3 dx$ qui en résulte de la stabilité. Cette quantité, ainsi qu'on le voit, change comme les cubes des largeurs y , aussi-tôt que la

longueur x de la carène ne souffre point de changement ; Fig. 34.
 & on s'est convaincu d'ailleurs dans l'Article précédent ,
 que les diverses profondeurs de la carène , n'influënt en
 rien dans la circonstance marquée sur la force qu'a le
 Navire pour conserver sa situation horisontale. Ainsi ce
 nouveau Théoreme qui sera utile dans l'Architecture Na-
 vale , est parfaitement établi : que *lorsque les Vaisseaux sont*
de même longueur , leurs stabilités sont comme les cubes de leurs
largeurs.

Comme on donne maintenant dans la Marine une très-
 grande largeur aux Navires , il n'est plus permis de l'au-
 gmenter beaucoup ; mais on peut changer les autres lar-
 geurs vers l'avant & vers l'arrière , & lorsqu'on les augmen-
 tera , on conferera une nouvelle force au vaisseau pour
 persister dans sa situation horisontale. On peut aisément
 comparer le Navire qui seroit cylindrique depuis une ex-
 trémité jusqu'à l'autre , avec le Navire qui seroit formé de
 deux cônes , l'un pour la prouë & l'autre pour la poupe :
 ou ce qui est plus général , mais ce qui revient au même ,
 on peut comparer le Navire , dont la coupe horisontale
 faite à fleur d'eau , est un rectangle , parce que toutes les
 largeurs dans cet endroit sont égales entr'elles , avec le
 Navire dont la coupe faite à fleur d'eau , est formée de
 deux triangles , l'un du côté de l'avant , & l'autre du
 côté de l'arrière ; parce que la prouë & la poupe se ter-
 minent exactement en pointes. Le premier Navire aura
 précisément quatre fois plus de stabilité que le second.
 Car dans le premier cas , toutes les largeurs y étant éga-
 les , il faudra multiplier le cube y^3 par la longueur x du
 Navire , pour avoir l'intégrale Sy^3dx : au lieu que dans le
 second où les largeurs vont en diminuant en progression
 arithmétique , il faudra , pour avoir la somme de leurs
 cubes , ou l'intégrale Sy^3dx , ne multiplier le plus grand
 cube y^3 que par le quart de la longueur x du Navire , qui
 en représente la multitude.

Il faut au surplus mettre encore ici la même restriction
 que ci-devant : c'est-à-dire que pour l'exakte vérité de ce

Pp ij

Fig. 54. que nous avançons actuellement, il est toujours nécessaire que le poids de tout le Navire se réunisse dans le centre de gravité de la carène. Si le poids total se réunit dans le point K, le moment dont il s'agit ici, ne sera plus le produit de la pesanteur p par $\Gamma g = \frac{\frac{2}{3}Sy^3dx}{p}$, mais par $Kg = \Gamma g + \Gamma K$, & sera donc, comme on l'a déjà vû, plus grand que $\frac{2}{3}Sy^3dx$ de tout le produit de la pesanteur p , par la quantité ΓK , dont le centre de gravité commun K sera au-dessous du centre de gravité Γ . Lorsqu'on élargira ou qu'on retrecira le Vaisseau, il est naturel que son centre de gravité K reste toujours dans la même place; mais la pesanteur p changeant comme les largeurs, son produit par $K\Gamma$ changera dans le même raport. Ainsi les deux parties dont le moment $p \times \Gamma g \pm p \times \Gamma K$, ou $\frac{2}{3}Sy^3dx \pm p \times \Gamma K$, est formé, à considérer la chose d'une manière générale, sont sujettes à changer, selon deux différentes loix. Pendant que la premiere partie qui n'est autre chose que la stabilité du Navire, lorsque la pesanteur se réunit dans le centre de gravité de la carène, change comme les cubes des largeurs; la seconde partie qu'il faut ajouter ou soustraire de la premiere, selon que le centre de gravité K est au-dessous ou au-dessus de Γ , ne change simplement que comme les largeurs.

Il nous reste à dire que quoique ce cas général soit plus compliqué, il est cependant très-facile de trouver le changement que reçoit la stabilité du Navire dont on change toutes les largeurs proportionnellement, pourvû qu'on connoisse la premiere situation des trois points g , Γ & K, du métacentre, du centre de gravité de la carène, & du centre de gravité du Vaisseau. La pesanteur p se multipliant toujours par $Kg = \Gamma g \pm \Gamma K$, nous pouvons prendre la quantité simple $\Gamma g \pm \Gamma K$, pour représenter le moment ou la stabilité; & il n'y aura qu'à faire attention qu'après le changement fait aux largeurs, ce moment sera encore exprimé par $\Gamma g \pm \Gamma K$, mais dont on aura fait changer la partie Γg , selon le raport des cubes des lar-

geurs, & ΓK selon le raport simple de ces mêmes lar- Fig. 547
geurs. Suposé qu'on élargisse le Vaisseau par tout pro-
portionnellement d'une vingt-quatrième partie, sa stabili-
té deviendra plus grande dans le raport de $\Gamma g \pm \Gamma K$ à
 $\frac{15625}{13824} \Gamma g \pm \frac{25}{24} \Gamma K$.

IV.

*Du changement que reçoit la stabilité du Vaisseau, lorsqu'on
se sert de lest d'une pesanteur spécifique différente.*

Enfin, sans qu'il soit nécessaire de toucher aux dimen-
sions de la carène, on peut encore faire augmenter la
force relative dont il s'agit, en se servant de lest d'une
pesanteur spécifique plus grande. Il ne faudra toujours
mettre dans la cale que le même poids de ce lest plus
pesant ; mais, comme il y occupera moins de place,
son centre de gravité sera plus bas, ce qui fera descen-
dre le centre de gravité commun K , & fera donc augmen-
ter la seconde partie $p \times \Gamma K$ du moment total. Si, à un
lest deux ou trois fois plus pesant que l'eau marine, on
substitue un lest qui le soit quatre fois ou cinq fois plus,
il est certain que le centre K descendra considéra-
blement ; & il le fera encore beaucoup plus, si le lest est d'une
matière encore plus pesante, quoique cette descente du
centre de gravité K devienne toujours plus lente, &
que la stabilité ait une limite à laquelle il n'est pas mê-
me possible qu'elle parvienne jamais. Il faudroit en effet
que la pesanteur de toutes les parties du Navire fût nulle,
& que le lest fût au contraire d'une pesanteur spécifi-
que infinie, pour que le centre de gravité K descendît
jusqu'en E ; & alors la stabilité du Navire qui n'est expri-
mée que par $\frac{2}{3} Sy^3 dx = p \times \Gamma g$, lorsque la pesanteur to-
tale p se réunit en Γ , seroit exprimée par $p \times \Gamma g + p \times \Gamma E$,
& ne seroit donc augmentée que dans le même raport
que gE est plus grande que $g\Gamma$. On ne peut, en em-

302 T R A I T É D U N A V I R E ,
 ployant du lest plus pesant , qu'approcher de cette plus grande force relative , sans jamais l'atteindre : c'est un terme qui est inaccessible , quoiqu'on doive l'avoir toujours en vûe. Mais on reconnoît en même tems que les matieres viles qui sont sept à huit fois plus pesantes que l'eau Marine , & dont on peut disposer avec facilité , procureront sensiblement , quand on le voudra , tout l'avantage possible à cet égard.

CHAPITRE IX.

Examen plus particulier du changement que reçoit la stabilité du Navire , lorsqu'on ajoute à sa carène , ou qu'on en retranche quelque partie par en bas.

I.

LA grande importance de ce sujet nous invite à nous en occuper davantage , & à examiner plus attentivement les effets que doit produire , non pas le changement total fait à une des trois principales dimensions de la carène ; mais l'addition particuliere , ou le retranchement de quelque espace peu étendu.

Il suit déjà de l'Article II. du Chapitre précédent , que lorsqu'on ajoute à la carène deux espaces $AHEh$, & $BHEh$, (Fig. 60.) sans toucher aux dimensions de la coupe horizontale faite à fleur d'eau , & que le nouveau poids dont il faut charger le Navire de plus , à cause du plus grand espace qu'il occupe dans la Mer , se réunit dans le centre de gravité de ces espaces ajoutés , la stabilité est toujours exactement la même ; aussi-tôt que la pesanteur totale qu'avoit auparavant le Navire , se réunissoit dans le centre de gravité de sa carène. Car si l'addition des deux espaces augmente l'étendue de la carène , & fait changer son centre de gravité , l'addition du nouveau poids produira

Fig. 60.

d'un autre côté le même changement à l'égard du centre de gravité commun de tout le Vaisseau , & le fera toujours concourir avec le centre de gravité particulier de la carène supposée homogène. Or il n'en faut pas davantage , aussi-tôt que la coupe horizontale faite à fleur d'eau est toujours la même , pour que le Navire , malgré sa plus grande pesanteur , ou la plus grande solidité de sa carène , n'ait toujours que la même force , pour conserver sa situation horizontale.

Fig. 60.

Mais ce qui est très-digne de remarque , & ce qui donne une généralité infiniment plus grande à notre proposition , c'est qu'elle se trouve également vraie , quoique la pesanteur totale du Vaisseau se réunisse dans un autre point que le centre de gravité de la carène. Nous tâcherons de nous expliquer plus clairement. Si après avoir renflé la carène $AHEHB$ par en bas , en lui ajoutant les deux parties $AHEh$ & $BHEh$, qui supposées homogènes , ont leur centre de gravité en I , on fait en sorte que le nouveau poids dont il faudra charger le Vaisseau , ait pour centre de gravité les mêmes points I ou le point K , qui est exactement au milieu sur la ligne droite qui les joint , la stabilité du Navire sera toujours précisément la même , sans qu'il importe en quel endroit soit le centre de gravité commun G_1 .

Lorsqu'on ajoute à la carène les deux parties $AHEh$, & $BHEh$, que nous supposons infiniment petites pour plus de facilité , quoique nos raisonnemens soient généraux , le centre de gravité Γ_1 de la carène considérée comme homogène , doit descendre , & il est évident qu'il le doit faire de la petite quantité $\Gamma_1\Gamma_2$, qui a même rapport à Γ_1K , que les deux parties ajoutées $AHEh$, $BHEh$ à toute la carène. Ainsi si la hauteur du métacentre g_1 au-dessus du centre de gravité de la carène , ne devoit recevoir aucun changement , le métacentre se trouveroit ensuite en g_2 , & le petit espace g_1g_2 , dont il seroit plus bas , seroit égal à $\Gamma_1\Gamma_2$. Mais la hauteur du métacentre à l'égard même du centre de gravité Γ_2 , doit diminuer en même raison qu'on a fait croître la solidité de la

Fig. 60. carène ; il est donc clair que la situation du métacentre g_1 souffre deux petits changemens : l'un g_1g_2 qui est égal à $\Gamma_1\Gamma_2$, & qui est proportionnel à Γ_1K ; & l'autre g_2g_3 qui est proportionnel à Γ_1g_1 , & qui a même rapport à Γ_1g_1 , que les deux espaces $AHEh$ & $BHEh$ à toute la carène. Or il suit de-là que le changement total g_1g_3 est proportionnel à toute la hauteur Kg_1 ; de sorte que la hauteur du métacentre par rapport au point K , diminuë toujours précisément en même raison que la solidité de la carène augmente.

D'un autre côté le centre de gravité commun G_1 du Vaisseau, de son propre corps, de ses agréils, de sa charge, &c. doit recevoir aussi quelque changement par l'addition du nouveau poids en I & en I . Ces nouveaux poids doivent faire le même effet que s'ils étoient appliqués en K ; & ils doivent faire diminuer la hauteur KG_1 de la petite quantité G_1G_2 , en même rapport que la solidité de la carène ou que la pesanteur du Vaisseau, est plus grande qu'elle n'étoit. Mais puisque nous avons vû que Kg_1 en devenant Kg_3 , diminuë en même raison, il suit (*dividendo*) que l'excès g_1G_1 d'une de ces hauteurs sur l'autre, diminuë aussi proportionnellement. La stabilité du Vaisseau est donc exactement la même dans les deux circonstances, puisque la hauteur du métacentre par rapport au centre de gravité du Navire, reçoit en moins précisément le même changement, que la solidité de la carène, ou que la pesanteur du Navire reçoit en plus ; & on sçait que le produit de deux grandeurs qui ne varient qu'en raison réciproque, est constamment le même.

On peut prouver la même vérité d'une maniere beaucoup plus simple ; mais en suposant ce que nous avons dit dans le Chapitre précédent, touchant les deux parties dont la stabilité du Navire est formée, lorsque la pesanteur totale ne se réunit pas dans le centre de gravité de la carène. L'addition des deux parties $AHEh$, $BAEh$ fait également diminuer les hauteurs $K\Gamma_1$ & KG_1 des centres de gravité de la carène & du Vaisseau, en raison
inverse

inverse des solidités de la carène dans les deux états. On en conclut (*dividendo*) que les distances $G_2\Gamma_2$ & $G_1\Gamma_1$ de ces centres de gravité, sont en raison réciproque des deux différentes solidités, ou des deux différentes pesanteurs totales du Vaisseau, & que par conséquent le produit de la pesanteur totale par la distance actuelle des deux centres, est toujours la même. Or c'en est assez pour que la stabilité ne change point; puisque la première partie est toujours constante, & que le produit ou le moment dont nous venons de parler, constitue la seconde.

Fig. 60.

II.

Mais puisque la stabilité du Navire est toujours exactement la même, lorsque le nouveau poids qu'il faut ajouter à la charge, se réunit dans le centre de gravité des espaces ajoutés à la carène; il est clair que ce ne sera plus la même chose aussi-tôt que cette condition ne sera pas remplie; ainsi que cela arrivera presque toujours. Comme le lest est au moins une fois & demie, ou deux fois plus pesant que l'eau de Mer, celui qu'on ajoutera à la charge, ne remplira qu'une partie des espaces $AHEh$, $BHEh$, & quand même il seroit de même pesanteur spécifique que l'eau, on ne l'étendrait pas jusqu'au haut A & B de ces espaces; mais on le rejetteroit en partie vers le milieu de la cale. L'addition qu'on est obligé de faire au lest, aussi-tôt qu'on donne une plus grande solidité par en bas à la carène, a donc toujours dans les cas ordinaires & actuels, son centre de gravité i au-dessous de celui I de l'espace ajouté; & il suit de-là que sa force relative doit être plus grande, ou que le Vaisseau acquiert une nouvelle stabilité. La force relative doit être plus grande de tout le produit du nouveau poids par la quantité Kk , dont son centre de gravité i se trouve au-dessous de I .

Si E marque l'étendue ou la solidité $AHEHB$ de la carène, & e l'étendue des deux parties $AHEh$ & $BHEh$ qu'on lui ajoute ensuite; ces étendues étant proportion-

Qq

Fig. 60. nelles , & à la première pesanteur qu'avoit le Vaisseau , & au poids qu'il faut ensuite lui donner de plus , la stabilité sera dans le premier état exprimée par ExG_1g_1 , & dans le second par $ExG_1g_1 + exKk$. C'est-à-dire que *lorsqu'on ajoute quelque étendue à la carène par en bas , la stabilité du Navire se trouve toujours augmentée ou diminuée de tout le produit du nouveau poids qu'il faut ajouter en même tems , multiplié par la quantité dont son centre de gravité est au-dessous ou au-dessus de celui de l'espace ajouté*. La stabilité sera plus grande , si le nouveau poids est plus bas ; & elle sera au contraire plus petite , si le nouveau poids est plus haut.

III.

Fig. 61. Il ne nous reste plus qu'un pas à faire , pour voir encore plus distinctement l'effet que doivent produire tous les changemens qu'on peut faire à la carène par sa partie inférieure. Supposons d'abord qu'elle ait la forme ABPP (Fig. 61.) & que ne changeant toujours rien à ses largeurs par en haut , on l'accroisse par en bas des deux petits triangles rectilignes ou mixtilignes OPp , qui sont égaux , en augmentant le plat PP des varangues de la petite quantité Pp par chaque extrémité. La carène occupant ensuite un plus grand espace dans la Mer , il faudra donner à la charge ou au lest un plus grand poids , & la pesanteur de ce poids ajouté , doit être égale à celle du volume d'eau , dont les deux triangles OPp , occupent la place. Mais si la matière du lest est , par exemple , six fois plus pesante que l'eau Marine , le poids ajouté au lieu d'occuper entièrement les petits triangles OPp , n'en occupera que la sixième partie. Je suppose que ce nouveau lest se trouve comme ramassé autour des points I , & que sa pesanteur se réunisse dans ces mêmes points. La stabilité du Navire , selon l'Article I. ne sera nullement augmentée : mais il faudra nécessairement achever de remplir les triangles OPp , OPp , & ce doit être avec le premier lest qui parvenoit auparavant dans la cale jusqu'à

la ligne MM, & qui ne parviendra plus ensuite que jusqu'à *mm*, après que toute la quantité MM*mm* aura été employée à occuper le reste des deux espaces triangulaires OPP. Or cette simple transposition fera augmenter la stabilité du Navire, parce que le poids sera appliqué plus bas qu'il n'étoit, ou qu'il sera appliqué à un bras de levier plus long; & son moment se trouvera plus grand de tout son produit par la quantité dont son centre de gravité sera plus bas.

Fig. 61.

Comme ce lest transposé n'occupe pas les espaces triangulaires entiers, mais seulement les cinq sixièmes, ou cinq fois plus d'espace que n'occupe le lest ajouté, & qui environne immédiatement les centres de gravité I, la pesanteur sera représentée par cinq fois l'étendue des deux petits triangles, à proportion de celle du lest ajouté, qui n'est représenté que par l'étendue même de ces triangles. D'un autre côté, il aura également pour centre de gravité les points I dans chaque espace : car ayant supposé le nouveau lest tellement recueilli autour des points I, qu'il a ces deux points pour centre de gravité, l'espace qui reste autour doit avoir encore les mêmes points pour centres. Ainsi la stabilité du Navire sera simplement augmentée du produit du lest transposé, multiplié par KH qui est la quantité dont il est porté plus bas. Si nous nommons, comme ci-devant, E l'étendue entière AOPPOB, & *e* celle des deux espaces triangulaires, nous aurons toujours pour la stabilité du Navire dans le premier état, $E \times Gg$, produit de l'étendue E, qui représente le poids total par la quantité Gg, dont le centre G est au-dessous du métacentre *g* : mais dans le second état la stabilité sera augmentée du produit de la pesanteur du lest transposé, qui est égale à $5e$, multipliée par KH. C'est-à-dire qu'elle sera $E \times Gg + 5e \times HK$.

Si le lest au lieu d'être six fois plus pesant que l'eau de Mer, ne l'est que trois fois plus, le nouveau lest qu'il faudra ajouter lorsqu'on augmentera l'étendue de la carène, occupera le tiers des deux petits triangles PO*p*. Il reste-
Qq ij

Fig. 61. ra donc les deux autres tiers qu'il faudra remplir avec une double quantité d'ancien lest, & qui pesera par conséquent deux fois plus. Ainsi la stabilité sera augmentée de $2e \times HK$ produit de HK par $2e$ qui est alors la pesanteur du lest transposé double de celle du lest ajouté. Si le lest est deux fois plus pesant que l'eau Marine, on verra de la même manière que la stabilité du Navire sera augmentée par l'addition des deux triangles POp , de $e \times HK$, qui est le produit de HK par l'étendue simple de ces deux triangles. Enfin, nous avons ce Théoreme général qui doit être d'un grand usage, & qui répand un nouveau jour sur toute cette matière, que si n exprime le nombre de fois dont la pesanteur spécifique du lest est plus grande que celle de l'eau Marine, la stabilité du Vaisseau qui étoit exprimée par $E \times Gg$, reçoit par l'addition des deux petits triangles OPp , ou de tout autre espace ajouté vers le bas de la carène, une augmentation toujours exprimée par le produit du multiple $n - 1$ de l'étendue e de ces espaces multipliés par la quantité verticale HK , dont leur centre de gravité commun H est au-dessous de la surface supérieure du lest, ou au-dessous, pour parler dans la dernière précision, du centre de gravité de $MMmm$.

Il n'est pas, je crois, nécessaire d'avertir que ce Théoreme n'a lieu que lorsque les espaces ajoutés à la carène, ne sont pas au-dessus de la surface supérieure du lest : Si ces espaces étoient ajoutés au niveau de cette surface, il ne se feroit aucune transposition de lest, qui le portât plus bas ; & le nouveau lest qu'il faudroit ajouter, n'augmenteroit aussi en rien la stabilité qui resteroit donc la même à cet égard, conformément au Théoreme. Mais si les petits espaces qu'on ajoute à la carène sont au-dessus de la surface du lest, on gagne alors réellement, parce que le lest qu'il faut joindre à l'ancien, ne se met pas dans ces espaces mêmes, mais s'étend sur l'ancien. C'est pourquoi la stabilité du Navire est augmentée du produit des espaces simplement ajoutés e , par la quantité dont leur centre de gravité est élevé au-dessus de la surface du lest.

IV.

Il résulte de tout ce qu'on vient de dire, qu'il y a toujours réellement de l'avantage, & un avantage considérable à augmenter la solidité de la carène par en bas & par les côtés, comme dans les figures 60 & 61; & il est également clair qu'aussitôt que ses plus grandes dimensions sont déjà fixées, sa longueur, sa plus grande largeur, sa profondeur, on ne peut pas lui donner de forme préférable à celle d'un parallipipede rectangle; puisqu'en ajoutant continuellement de nouvelles parties AHEh, ou OPp, on confère toujours au Vaisseau une nouvelle stabilité. Toutes les figures seroient absolument indifférentes ou également parfaites, nous le répétons encore, si le nouveau poids qu'il faut nécessairement donner de plus à la charge, quand on augmente la carène, étoit placé dans le centre de gravité de l'espace ajouté, ou si toute la masse du lest ne descendoit pas: mais aussi-tôt qu'on ne peut pas se dispenser de mettre le poids plus bas, il y aura toujours à gagner du côté de la grandeur du moment, ou de cette force avec laquelle le Navire conserve sa situation horizontale. On a donc ici des moyens infailibles de corriger les projets qu'on aura trouvé défectueux, ou qui n'auront pas pû soutenir l'examen expliqué dans le Chapitre VI. & on le pourra faire avec le même succès, soit qu'on touche à la largeur de la carène, soit qu'on touche à sa profondeur, soit enfin qu'on ne fasse que changer la pesanteur spécifique du lest. On a vû combien ce dernier moyen est efficace; & il ne faut pas douter que certains Vaisseaux qu'on regarde comme inutiles, ne devinssent très-capables d'aller en Mer, si on leur donnoit un lest entierement de fer.

Fig. 60 & 61.

V.

Pour revenir aux dimensions de la carène, la largeur; telle qu'elle est fournie actuellement par les règles ordinaires, est accommodée à la grosseur de l'artillerie, & au

Qq iij

310 T R A I T É D U N A V I R E ,
nombre d'hommes dont on veut que l'équipage soit formé; de sorte qu'on peut dire qu'aussitôt qu'on se propose de faire un Vaisseau d'un certain rang, ou d'un certain nombre de canons, sa largeur est comme *donnée*: Elle l'est par toutes les conditions ajoutées par l'usage auquel on destine le Vaisseau. Mais qu'on s'arrête à la largeur qu'on voudra, il n'y aura toujours pour rendre le Navire plus stable, qu'à donner plus de profondeur à sa carène, ou qu'à la grossir par en bas, en donnant plus de plat à ses varangues. On pourroit enfin augmenter la profondeur à l'infini, & avec avantage; au lieu qu'il y a toujours du risque à la trop diminuer. Ainsi s'il nous reste quelque chose à faire, c'est de chercher cette moindre profondeur qui sert de terme, ou celle qu'il faut au moins donner au Navire pour le mettre en sûreté.

C H A P I T R E X.

Déterminer la moindre profondeur qu'on peut donner à la Carène des Vaisseaux qui sont très-chargés par en haut, pour que leur centre de gravité soit effectivement au-dessous du métacentre.

I.

IL s'agit principalement dans les plus grands Vaisseaux de faire en sorte que leurs batteries ne soient pas noyées, ou qu'elles soient assez élevées au-dessus de la surface de la Mer. Nous commencerons par remplir d'abord cette condition qui occupe aujourd'hui si fort, & avec raison, les Constructeurs: Nous regarderons comme donnée la quantité dont le bord du Vaisseau doit être élevé au-dessus de l'eau; & nous travaillerons ensuite à remplir les autres vûes. Nous venons de reconnoître que plus les coupes de la carène faites perpendiculairement à la lon-

gueur, approchent d'avoir la figure de rectangles, plus le Vaisseau a de stabilité: Nous ne sçaurions donc mieux faire que de lui attribuer la forme d'un parallépipède rectangle; cela n'empêchera pas que l'examen que nous allons entreprendre, ne nous fournisse des vûes générales, qui auront leur application aux Vaisseaux de toutes les figures.

Je suppose que AEB (Fig. 62.) est la carène du Vais- Fig. 62.
seau, ou plutôt sa coupe verticale faite perpendiculairement à sa longueur; c'est-à-dire que AB est la longueur ou la grandeur du bau, & FE est le creux ou la profondeur. Je regarde comme déjà déterminée la longueur du Vaisseau, de même que la largeur AB, le nombre de ses ponts, son artillerie, les dimensions de sa mâture, la hauteur des ponts au-dessus de la surface de la surface de l'eau. Tout cela constitue le Vaisseau d'un certain rang ou d'une certaine grandeur, & il s'agit simplement de trouver la profondeur FE que doit avoir la carène. Les dimensions en un mot de tout ce qui doit être au-dessus de la surface de l'eau, sont arrêtées; & il n'est question que de déterminer la grandeur de la carène qu'on doit mettre en-dessous. Sa profondeur doit être au moins assez grande, pour que la *poussée verticale* de l'eau puisse soutenir la pesanteur de toutes les choses que nous venons de spécifier. Mais il s'agit de trouver de combien on doit l'augmenter encore, afin que la partie submergée étant plus grande que ne l'exige la pesanteur particulière du Vaisseau, on puisse mettre dans la cale, s'il le faut, une certaine quantité de lest, & faire en sorte que le centre de gravité du tout se trouve au-dessous du métacentre. Je nomme c la moindre profondeur que puisse avoir la carène; cette profondeur qui lui est nécessaire pour que la pesanteur particulière du Vaisseau sans lest, ne vainque pas la poussée verticale de l'eau. Je nomme a la demi-largeur de la carène; b la quantité GF, dont le centre de gravité particulier du Vaisseau, de son artillerie & de ses agréils, est élevé au-dessus de

Fig. 62. la surface de l'eau: la situation de ce centre pourra toujours se trouver aisément par les calculs du Chapitre V. puisque toutes les parties du Vaisseau qui forment principalement la pesanteur, sans même excepter la carène jusqu'à la profondeur c , sont données; & à l'égard de ce qui est au-dessous de ce terme, on peut le confondre avec le lest. On rendra d'ailleurs b plus ou moins grande, selon qu'on voudra que le Vaisseau soit plus ou moins élevé au-dessous de l'eau. Enfin je désigne par m & n le rapport de la pesanteur spécifique de lest à celle de l'eau de Mer; & par x la profondeur inconnue FE que doit avoir la carène, ou la seule partie sujette à se plonger.

II.

Solution Analytique.

Puisque la pesanteur du Vaisseau dans ses différens états, est proportionnelle à la solidité de ses parties submergées, & que ces parties, à cause de la forme de la carène en parallélipède rectangle, sont exactement proportionnelles à leurs profondeurs, nous pouvons exprimer la pesanteur particulière du Vaisseau, de son artillerie & de ses agréils par c , & la pesanteur particulière du lest par l'excès $x - c$ d'enfoncement qu'il produit. Mais quoique la pesanteur du lest soit exprimée par $x - c$, ce n'est pas à dire pour cela qu'il occupera dans la cale toute la hauteur $x - c$. Il l'occuperoit s'il étoit de même pesanteur que l'eau de Mer; mais comme il est plus ou moins pesant dans le rapport de m à n , il doit occuper une hauteur EK plus petite ou plus grande dans le même rapport, & il évident que cette hauteur sera exprimée par $\frac{n}{m} \times x - c$. Le centre de gravité H du lest doit se trouver au milieu de cette hauteur, c'est-à-dire qu'il sera élevé au-dessus de la quille ou du fond de la carène, de $\frac{n}{2m} \times x - c$; & puisque la pesanteur qui se réunit dans ce

centre,

centre, est représentée par $x - c$, nous aurons $\frac{n}{2m}$ Fig. 62 ;

$\times x^2 - 2cx + c^2$ pour son moment par rapport à la quille. Il est encore plus facile de trouver l'expression du moment de la pesanteur particulière du Vaisseau qui se réunit dans le centre de gravité G. Ce centre est élevé au-dessus de la surface de l'eau de la quantité $GF = b$, & la hauteur au-dessus du fond de la carène, est donc $b + x$. Or n'y a qu'à multiplier cette hauteur par l'enfoncement c de la carène qui exprime la pesanteur particulière du Vaisseau auquel il ne manque que son lest, & il viendra $bc + cx$. Enfin ajoutant ce moment avec celui $\frac{n}{2m} \times x^2 - 2cx + c^2$ du lest, & en divisant la somme $bc + cx + \frac{n}{2m} \times x^2 - 2cx + c^2$ par celle des pesanteurs, ou par x qui la représente ; puisque x est la somme de c & de $x - c$, & qu'il désigne l'enfoncement total de la carène, nous trouverons

$\frac{bc + cx + \frac{n}{2m} \times x^2 - 2cx + c^2}{x}$ pour la hauteur EG_1 du centre de gravité G_1 commun du Vaisseau & de son lest, &c.

Ainsi il n'est plus question que de chercher l'expression de la hauteur Eg du métacentre g , & de faire en sorte que cette hauteur soit plus grande que la précédente. Selon ce qu'on a vu au commencement du Chapitre IV. la hauteur du métacentre g au-dessus du centre de gravité de la carène considérée comme homogène, est $\frac{a^2}{3x}$, & puisque ce dernier centre qui est au milieu de la profondeur x , est déjà élevé de $\frac{1}{2}x$, nous aurons $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x$ pour la hauteur totale Eg du métacentre au-dessus du fond de la carène ; & c'est donc cette hauteur qui doit nécessairement être plus grande que celle EG_1

$\left(= \frac{bc + cx + \frac{n}{2m} \times x^2 - 2cx + c^2}{x} \right)$ du centre de gravité G_1 commun du Vaisseau & de son lest. C'est-à-dire que
R r

Fig. 62. nous aurons $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x > \frac{bc + cx + \frac{n}{2m} \times x^2 - 2cx + c^2}{x}$, ou si k

désigne la quantité précise dont on veut que le métacentre soit au-dessus du centre de gravité commun G_1 , on

aura $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x = k + \frac{bc + cx + \frac{n}{2m} \times x^2 - 2cx + c^2}{x}$, dont on tirera la formule

$$x = \frac{mk + m - n \times c + \sqrt{m - n \times mbc - m + n \times \frac{1}{2}ma^2 + m - n \times mkc + m^2k^2 + m - n \times mc^2}}{m - n}$$

qui satisfait à la question.

Si cependant le lest étoit de même pesanteur spécifique que l'eau marine, je crois qu'il vaudroit mieux chercher la valeur de x immédiatement dans l'équation $\frac{a^2}{3x}$

$+ \frac{1}{2}x = k + \frac{bc + cx + \frac{n}{2m} \times x^2 - 2cx + c^2}{x}$, que dans la formule même. Alors $m = n$, & le Problème devient simple ; on trouve $x = \frac{\frac{1}{3}a^2 - bc - \frac{1}{2}c^2}{k}$, qui nous apprend que $\frac{1}{3}a^2$ doit être absolument plus grande que $bc + \frac{1}{2}c^2$, & qu'aussitôt que cette condition a lieu, le centre de gravité commun du Vaisseau & de la charge, est toujours, comme il le doit être, au-dessous du métacentre. Il l'est en effet de la quantité $k = \frac{\frac{1}{3}a^2 - bc - \frac{1}{2}c^2}{x}$, que la condition que nous venons de spécifier, rend nécessairement positive ; au lieu que si $\frac{1}{3}a^2$ étoit moindre que $bc + \frac{1}{2}c^2$, la quantité k deviendrait négative, & par conséquent le métacentre ne se trouveroit plus au-dessus du centre de gravité commun G_1 du Vaisseau & de sa charge, mais au-dessous ; ce qui causeroit la perte inévitable du Vaisseau. Ainsi il faudroit alors refondre le projet dès le commencement : il faudroit ou diminuer le nombre des ponts, ou rendre l'artillerie beaucoup moins pesante, ou enfin augmenter la demi-largeur a de la carène.

Nous ne pouvons pas nous empêcher de le répéter,

qu'en même tems que cette condition de $\frac{1}{2}a^2$ plus grande que $bc + \frac{1}{2}c^2$ est indispensable dans la supposition que le lest ne pèse pas plus que l'eau marine, son observation fait tout; puisqu'aussitôt qu'elle a lieu, le centre de gravité G est nécessairement au-dessous du métacentre, quelque profondeur qu'on donne à la carène: de sorte qu'alors il n'y a point à se tromper. Cette règle doit être d'un usage d'autant plus étendu, & applicable aux Vaisseaux qui ont une figure plus différente du parallépipède rectangle, qu'elle est tirée du cas même le moins favorable; car le lest aura ordinairement une pesanteur spécifique, presque double de celle de l'eau marine, & quelquefois trois ou quatre fois plus grande; ce qui donnera au Navire une nouvelle force pour conserver sa situation horizontale. On sçaura donc si un projet de Vaisseau doit réussir par ce simple calcul. *On ajoutera la quantité (b), dont son centre de gravité particulier est élevé au-dessus de l'eau, avec la moitié de la moindre profondeur (c), que doit avoir la carène, pour que la Mer puisse le soutenir, lorsqu'il n'a point de charge étrangère: on multipliera cette somme par la moindre profondeur (c), & il ne restera plus qu'à voir si le produit $(cb + \frac{1}{2}c^2)$ est effectivement moindre que le tiers du quarré de la demi-largeur (a) du Navire.*

Cet examen ne sera absolument nécessaire que pour les plus grands Navires, dans lesquels les Constructeurs sont le plus sujets à ne pas réussir; c'est pour cela que nous prendrons pour exemple un Vaisseau du premier rang. Je suppose qu'on a déjà cherché de combien doit être la moindre profondeur de la carène pour soutenir le poids de sa mâture, de ses agréils, de son artillerie, des ponts, des dunettes, de l'équipage même, & qu'on examine en même tems combien le centre de gravité de toutes ces choses est élevé au-dessus de l'eau. Si la moindre profondeur est de 10 pieds, & la hauteur du centre de gravité de 11, pendant que la largeur du Vaisseau est de 48; on aura $a = 24$; $c = 10$, & $b = 11$. & comme le tiers 192 du quarré de a est considérablement plus grand que 160,

R r ij

Fig. 62.

qui est la valeur de $bc + \frac{1}{3}c^2$, ce sera une marque que le projet peut réussir, & qu'on peut donner à la carène quelle profondeur on voudra, plus grande que c . Lorsque $\frac{1}{3}a^2$ surpassera $bc + \frac{1}{3}c^2$ d'une moindre quantité, il y aura moins de sûreté, & il faudra quelquefois se résoudre à retrancher quelque chose des parties supérieures du Vaisseau, à moins qu'on ne puisse remédier au mal, comme nous l'avons dit, en faisant le lest d'une plus grande pesanteur spécifique.

III.

Construction géométrique du même Problème.

On peut pour répandre un plus grand jour sur toute cette matière, représenter les hauteurs du centre de gravité commun du Vaisseau & de son lest, à peu près de la même manière que nous avons représenté celles du métacentre dans le Chapitre VII. * On se ressouvient que les hauteurs de ce dernier point sont représentées par les ordonnées eg , Fg d'une hyperbole ggg , (Fig. 63.) comparée à la droite FD , dont les parties FE , FD représentent les profondeurs variables du Vaisseau. L'hyperbole ggg a pour asymptotes les lignes FB & FM ; & pendant que mg ou Mg marque la hauteur qu'a le métacentre, par rapport au centre de gravité de la carène supposée homogène, les parties em & EM qui sont proportionnelles aux profondeurs Fe ou FE , marquent la quantité dont ce dernier point est élevé au-dessus du fond de la carène; & de cette sorte les ordonnées entières eg ou E , marquent les hauteurs complètes du métacentre au-dessus de ce même fond. Dans le cas que nous examinons actuellement, les hauteurs du métacentre sont exprimées par $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{3}x$, le second terme répond à em ou EM , & le premier à mg ou à Mg .

Nous avons trouvé d'un autre côté que la hauteur du centre de gravité commun du Vaisseau & de la charge,

est représentée par $\frac{cb + cx + \frac{n}{2m} \times x^2 - 2cx + c^2}{\alpha}$ à laquelle on Fig. 63:

peut donner cette forme $\frac{m-n}{m} \times c + \frac{n}{2m} x + \frac{\frac{n}{2m} c^2 + cb}{x}$ qui contient trois termes distincts, dont le premier est absolument constant; le second proportionel à la profondeur de la carène, & le troisième suit la raison inverse de cette même profondeur. Je représente le premier terme par les constantes el , ou EL , terminées entre FD & la parallèle CL , qui en est éloignée de la distance $FC = \frac{m-n}{m} c$. Je viens à bout de représenter le second terme $\frac{2m}{n} x$ par lk ou LK , en tirant du point C la ligne CI , de maniere que CL soit à LK comme $2m$

est à n ; & enfin le troisième terme $\frac{\frac{n}{2m} c^2 + bc}{x}$, est représenté par les parties kG ou KG , qui se terminent à l'hyperbole GGG , qui a CB & GI pour asymptotes, & dont $\frac{n}{2m} c^2 + bc$ est la puissance. Ainsi les ordonnées entieres eG , EG marquent les hauteurs du centre de gravité commun du Vaisseau & de son lest au-dessus du fond de la carène pour toutes les différentes suppositions ou hypothèses de profondeurs de carène. On voit aisément entre toutes ces hypothèses celles qu'il faut exclure, ou celles qu'on peut adopter, parce qu'elles rendent la hauteur du centre de gravité commun plus grande ou plus petite que la hauteur du métacentre. Ces deux hauteurs ne font encore que commencer à devenir égales, lorsque FE est la profondeur de la carène; mais qu'on rende cette profondeur un peu plus grande, qu'on la fasse égale à FD , le métacentre se trouvera au-dessus du centre de gravité, de toute la quantité Gg , dont Dg est plus grande que DG ; & si on veut avoir la stabilité du Vaisseau, il n'y aura qu'à multiplier Gg par la profondeur FD qui est ici proportionnelle à la pesanteur totale. On n'a garde de don-

R r iij

Fig. 63. ner cette construction du Problème pour la plus simple; mais on ne peut s'empêcher de dire qu'elle est la plus lumineuse de toutes : c'est ce qui nous la fait choisir.

Si la pesanteur spécifique du lest est égale à celle de l'eau marine, nous aurons $m = n$; & l'expression $\frac{m+n}{m}$

$c + \frac{n}{2m}x + \frac{\frac{n}{2m}c^2 + bc}{x}$ de la hauteur du centre de gravité du Vaisseau, se réduira à $\frac{1}{2}x + \frac{\frac{1}{2}c^2 + bc}{x}$. Ainsi l'intervalle

Fig. 64. FC deviendra nul, la ligne CI tombera sur FM, comme dans la figure 64, & les deux hyperboles GGG & ggg, qui auront les mêmes asymptotes, ne différeront entr'elles qu'à cause de leur différentes puissances $\frac{1}{2}c^2 + bc$, & $\frac{1}{2}a^2$. Lorsque la puissance de la première GGG fera plus grande que celle de la seconde ggg, les hauteurs du centre de gravité seront constamment plus grande que celles du métacentre, quelque profondeur qu'on donne à la carène; & il faudra par conséquent retourner sur ses pas pour corriger tout le projet de plus loin. Mais si $\frac{1}{2}a^2$ est plus grand que $\frac{1}{2}c^2 + bc$, l'hyperbole gg qui marque les hauteurs du métacentre, sera en-dehors de l'autre hyperbole, & alors on pourra donner quelle profondeur on voudra à la carène. On ne pourra pas lui en donner une plus grande sans se trouver obligé de donner aussi plus de pesanteur au Vaisseau; mais comme dans ce cas particulier la quantité Gg, dont le centre de gravité sera au-dessous du métacentre, diminuera en même raison, la stabilité du Navire sera toujours la même; ce qui est conforme à ce que nous sçavons déjà.



C H A P I T R E X I.

Trouver par une expérience très-simple dans les Vaisseaux déjà construits, si le centre de gravité a la situation qu'on se proposoit de lui donner.

IL fera sans doute très-avantageux, après que le Vaisseau sera construit & tout-à-fait armé, de pouvoir vérifier dans le Port même, & avant le départ, si le centre de gravité & le métacentre sont effectivement disposés l'un par rapport à l'autre, comme ils doivent l'être. Quelquefois plusieurs choses sont arrangées & placées différemment; la consommation des munitions dans une longue campagne va aussi très-loin : & il est commode de voir tout d'un coup les changemens qui résultent de tout cela. C'est ce qu'on peut toujours sçavoir par une expérience très-simple, dont nous devons la première idée au Pere Hoste.

Si l'on met à côté du Navire OEC (Fig. 55) en-dehors un assez grand poids P, à l'extrémité Q d'une pièce de bois placée en travers, ce poids fera incliner le Vaisseau jusqu'à un certain terme; jusqu'à ce qu'il y ait équilibre de part & d'autre de la direction γZ de la poussée verticale de l'eau, entre le poids d'un côté & la pesanteur du Vaisseau de l'autre. Le centre de gravité commun G, est exactement dans la même verticale que le métacentre g, lorsque le Navire étant laissé à lui-même, est dans sa situation horizontale. Mais à mesure que l'inclinaison augmente, le centre de gravité G s'éloigne de la verticale γZ du métacentre; & il est évident que la distance GT à cette ligne, est continuellement proportionnelle au sinus de l'inclinaison, au moins lorsque le Navire s'incline très-peu. Or connoissant cette distance & de plus la pesanteur totale du Vaisseau, on aura son moment ou la force re-

Fig. 55.

Fig. 55. lative avec laquelle cette pesanteur travaille à rétablir le niveau. Mais puisqu'on connoît également la situation & la pesanteur du poids qui produit l'inclinaison, on pourra voir si un moment est égal à l'autre, celui du poids à celui de la pesanteur du Navire, ou à sa stabilité effective : & on reconnoîtra aisément de cette sorte si le centre de gravité a réellement la place qu'on vouloit lui donner.

On ne sçauroit dans cette expérience mesurer l'inclinaison du Vaisseau avec trop de précision ; car c'est de là que dépend tout le succès de l'examen. On se servira pour cette mesure ou de la ligne qui est à très-peu près de niveau, que fournit l'horison sensible de la Mer, ou bien d'un fil à plomb qu'on attachera vers la tête du mât, & dont on examinera en bas la distance au mât dans les deux états du Navire, lorsqu'il est censé de niveau, & lorsqu'il est incliné. L'usage du fil à plomb me paroît principalement commode, parce qu'il fournit immédiatement le rapport selon lequel le centre de gravité s'éloigne de la verticale du métacentre : car il est facile de voir que ce centre s'éloigne toujours sensiblement de la verticale de l'autre point, dans le même rapport que le fil à plomb s'éloigne par en bas du pied du mât. On sera attentif aussi pendant toute la durée de l'opération, de rendre toutes les circonstances absolument les mêmes, afin d'être sûr que l'inclinaison produite, ne vient que de l'application du poids sur le côté du Navire. On aura sans doute besoin du secours de plusieurs personnes pour disposer tout ; mais il faudra les faire ensuite retourner à leur place, pendant qu'on examinera seul la distance du fil à plomb, & qu'on prendra les autres mesures. La pesanteur de deux ou trois personnes, & quelquefois de huit ou dix, peut se négliger dans cette rencontre : au lieu que le poids de tous les hommes qui forment l'équipage, doit produire des changemens si sensibles, que je crois qu'on pourroit s'en servir dans les expériences, comme de celui dont on dispose le plus aisément,

fément, ou qu'il est le plus facile de faire passer d'un endroit à l'autre. Fig. 55.

On apprendroit par le même moyen la situation du centre de gravité du Vaisseau, si on ne connoissoit seulement que celle du métacentre. Car sçachant la quantité du poids P qui produit l'inclinaison, & examinant sa distance RZ au métacentre, ou à la verticale qui passe par ce point, & sur laquelle s'exerce la poussée de l'eau, on a son moment ou sa force relative qui est égale, à cause de l'équilibre, à celle de la pesanteur du Navire, ou à sa stabilité. Ainsi il n'y a qu'à diviser ce moment par la pesanteur totale du Vaisseau, & il viendra au quotient la quantité dont le centre de gravité G est éloigné de la verticale γZ du métacentre. Si le poids qui fait incliner le Navire est de 5 tonneaux, & qu'il soit éloigné de 30 pieds de la direction γZ , son moment sera exprimé par 150, & si on divise ce moment par la pesanteur totale du Navire que je suppose de 1800 tonneaux, on apprendra que le centre de gravité est éloigné de la verticale γZ de $\frac{5}{60}$ pied ou d'un pouce. Il sera facile après cela de découvrir combien le centre de gravité est au-dessous du métacentre g : puisque, comme nous l'avons déjà vû, il y a toujours même raport de la quantité dont le fil à plomb s'éloigne par en bas du pied du mât, à la hauteur même du mât, que de l'intervalle GT (1 pouce) qu'il y a entre le centre de gravité G & la verticale γZ du métacentre, à la quantité Gg , dont un de ces points est au-dessous de l'autre. Si le fil à plomb sur une longueur de 50 pieds, s'éloigne du mât par en bas d'un pied, on aura cette proportion ; 1 est à 50, comme la distance (1 pouce) du centre de gravité à la verticale du métacentre, est à 50 pouces, ou à 4 pieds 2 pouces pour la quantité requise Gg , dont le centre de gravité est au-dessous de l'autre point. On peut remarquer que pour rendre cette détermination exacte, il n'est pas nécessaire d'une connoissance bien précise de la situation du métacentre : on pourra souvent supposer ce point au milieu de la largeur

OC du premier pont. Plus aussi le poids dont on se servira pour faire incliner le Vaisseau , sera petit , plus il faudra le mettre à une grande distance ; & plus l'erreur de quelques pouces qu'on pourra commettre sur sa distance horifontale au métacentre , deviendra insensible.

Enfin , dans les cas mêmes où l'on ne connoîtra ni la situation du centre de gravité , ni celle du métacentre , l'expérience dont il s'agit , aura au moins cette utilité très-considérable , d'apprendre si ces deux points sont toujours disposés de la même manière , l'un par raport à l'autre. On se trouvera de cette sorte en état de profiter des tentatives qu'on aura faites dans les autres voyages , & de retrouver aisément cette disposition du Vaisseau qui contribué le plus à la vitesse de son sillage , & que les Marins nomment son *assiette*. Ce n'est que par des essais répétés une infinité de fois qu'on a pû saisir jusqu'à présent cette disposition. Quoique les Constructeurs n'oublient jamais de marquer dans leur plan la *ligne d'eau* , ou la ligne jusqu'à laquelle ils se proposent de faire caler leur Navire , il n'est que trop vrai qu'ils n'ont aucune méthode réelle pour reconnoître s'il ne seroit pas plus avantageux qu'il plongeât plus ou moins , & qu'ils ignorent également combien il doit plus enfoncer par la poupe que par la prouë ; témoin la règle que nous avons réfutée dans le Chapitre X de la première Section du premier Livre. C'est pourquoi il faut souvent en Mer se donner de si grandes peines , & quelquefois inutilement , pour trouver l'état dans lequel un Navire singe le mieux.

Il s'est quelquefois trouvé des Marins qui ont réussi d'une manière toute particulière dans cette recherche. Je vis en passant à Brest à la fin de 1730 , qu'on y convenoit assez généralement que feu M. le Chevalier de Goyon * qui vivoit alors , étoit plus heureux ou plus adroit qu'un autre dans ces sortes de tentatives. Bien persuadé queses essais pouvoient lui servir dans les occasions les plus importantes , il faisoit faire dans son Vaisseau une infinité de

* Capitaine de Vaisseau & Commissaire General d'Artillerie.

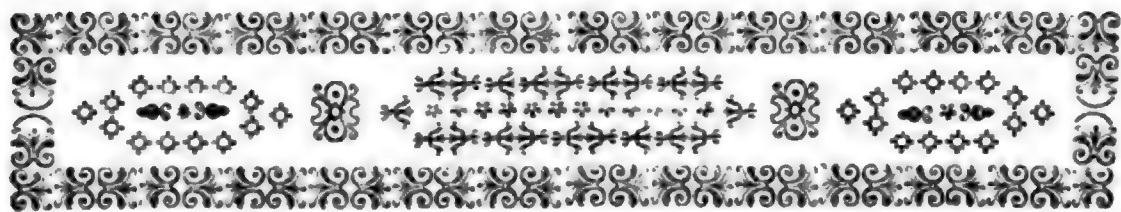
différens changemens , jusqu'à ce qu'il parvenoit à lui donner une disposition avantageuse qu'on ne lui avoit point encore vuë. Il mettoit tout en mouvement , il essayoit toutes les situations ; & de cette sorte il tiroit souvent partie du plus mauvais voilier. Mais malheureusement c'étoit un art tout particulier qu'avoit cet habile Officier ; & des essais pareils aux siens , ou même faits avec plus de méthode , se borneront toujours à la seule utilité présente , si lorsqu'on a eu le bonheur de trouver *l'assiette* , on n'a pas le soin de la constater , & de prendre , pour ainsi dire , des repaires , pour pouvoir la retrouver infailliblement une autrefois. Ce n'est pas assez de se souvenir en général , que tel Navire demande à être plus chargé vers l'arrière que vers l'avant , ou qu'il faut sur-tout bien prendre garde de ne pas rendre *ses hauts trop pesants*. Des connoissances aussi vagues , dont on s'est contenté jusqu'à présent , n'empêchent pas qu'on ne soit obligé de recommencer un nouveau tâtonnement chaque campagne , & même sans être sur de réussir.

Tous les Vaisseaux ayant sur leur étrave & sur leur étambot une espece *d'échelle* ou de graduation en pieds & en pouces pour marquer la quantité de l'enfoncement de la prouë & de la poupe ; on peut , avec cette graduation , sçavoir toujours avec facilité , & si la pesanteur totale est la même , & si elle est outre cela distribuée de la même maniere par rapport à la longueur du Vaisseau , si le centre de gravité est plus vers l'avant ou plus vers l'arrière. Cette connoissance qui est déjà très-importante , ne suffisant pas , puisque la pesanteur totale , quoique la même , & quoique distribuée de la même maniere dans le sens horizontal , peut avoir son centre plus ou moins haut , il faut avoir recours à l'expérience que nous proposons. Les Pilotes n'oublient jamais de mentionner dans leurs Journaux de combien de tonneaux leur Navire est chargé , la quantité dont il plonge ; ils n'obmettent pas même le nombre de canons dont il est armé : ils n'auront qu'à se faire une loi de spécifier aussi toujours le poids qu'il faut

Si ij

324 T R A I T E' D U N A V I R E ,
mettre sur son flanc pour le faire incliner d'une quantité déterminée. Et ils pourront observer la même chose à l'égard de quelques autres particularités distinctives que nous indiquerons dans la suite.

Il semble après cela que nous n'ignorons aucune des circonstances de la pesanteur qui contribuent à la sûreté & à la perfection de la Navigation : car que connoître de plus que la quantité de cette pesanteur, & le point précis dans lequel elle se réunit ? Il ne paroît pas même que les Mathématiciens qui ont examiné le plus cette matière, y aient soupçonné autre chose. Nous avons cependant à pousser nos Recherches encore plus loin, si nous voulons rendre notre examen complet. La pesanteur d'un Vaisseau peut être précisément la même, se réunir très-exactement dans le même centre, ou dans un point également élevé & également situé par rapport à la longueur de la carène, & que ses effets soient très-différens. Ses effets seront précisément les mêmes, tant que le Vaisseau conservera un parfait repos, ou pour parler plus exactement, tant qu'il conservera la même situation ; mais ils commenceront à devenir différens aussi-tôt que le Navire sera sujet à ces balancemens qu'on nomme *roulis*, qui se font d'un côté à l'autre, & qui ont même lieu, lorsque le Navire ne singe pas. Si quelque cause extérieure, comme l'agitation presque continuelle de la Mer, ou le choc irrégulier de quelques vagues, lui fait perdre sa situation horizontale, il y revient de lui-même avec vitesse : il contracte dans son retour un mouvement qui le fait s'incliner de l'autre côté, & ses oscillations durent quelquefois assez long-tems, pour que la cause extérieure se renouvelle & agisse une seconde fois ; ce qui perpétue le mouvement. Les Lecteurs Géomètres voient déjà le rapport qu'ont ces balancemens avec le mouvement des Pendules qu'on a si fort examiné depuis Galilée & M. Descartes. Mais il s'en faut beaucoup que le rapport soit parfait ; il admet des différences qu'on ne doit pas manquer de discuter.



TROISIÈME SECTION.

De la distribution de la pesanteur du Vaisseau par rapport au mouvement du roulis.

CHAPITRE PREMIER.

Du point autour duquel le Vaisseau fait les balancemens qu'on nomme roulis, & de la part qu'a la pesanteur dans ces balancemens.

I.

AUSSI-TÔT que quelque cause extérieure a fait incliner le Navire, deux forces, comme nous l'avons assez montré, travaillent toujours à le redresser, pourvû que le centre de gravité & le métacentre soient disposés comme ils doivent l'être. L'une de ces forces est la poussée verticale de l'eau, qui agissant de bas en haut, suspend, pour ainsi dire, le Navire en le tirant en haut; & l'autre force est la pesanteur même du Vaisseau qui agit & tire en bas. Le Navire, en revenant à sa situation horizontale, doit tourner sur un certain point; & la première question qui se présente à résoudre, & qui est, peut-être, la plus difficile, est de déterminer quel est ce point. On est d'abord tenté de croire qu'il est précisément entre les deux centres dans lesquels se réunissent la poussée de l'eau & la pesanteur du Navire; & cela, parce qu'on voit

que ces deux forces qui agissent seules dans cette rencontre , sont parfaitement égales ; les deux forces résident l'une au centre de gravité du Navire , l'autre au centre de gravité de la partie submergée ; elles doivent donc faire tourner le Vaisseau sur le point du milieu. On n'a pas fait autant d'attention à cette question d'Hydrostatique qu'elle le méritoit ; peu de personnes en ont traité : mais c'est sous cette même face qui est effectivement très-plausible , qu'elle s'est offerte à presque tous ceux qui l'ont examinée. Je n'ai vû enfin aucun Auteur qui ne se soit trompé dans cette Recherche. Borelli a prétendu , par exemple , dans son *Traité de motu animalium* , que les corps submergés tournoient autour de leur centre de figure , & il n'en a été censuré que par quelques personnes qui tomboient dans l'autre erreur , dont je viens de parler *.

* Ceci étoit exactement vrai , lorsqu'on l'écrivoit. Ce n'est qu'à mon retour du Pérou que j'ai vû que M. Bernoulli avoit résolu le même Problème dans le quatrième Tome de ses Oeuvres publiées en 1742. M. Euler en avoit déjà donné une autre solution, qui ne peut pas manquer d'être aussi très-élegante ; mais elle ne m'est pas encore tombée entre les mains.

Il est vrai que si deux puissances égales appliquées aux deux extrémités d'un levier , agissent perpendiculairement à ce levier en sens contraires , elles le feront tourner précisément sur son milieu : car sur quel autre point le feroient-elles tourner ? L'égalité parfaite qui se trouve entre les deux puissances , de même qu'entre leurs dispositions , fait qu'il n'y a pas plus de raison pour que le centre de conversion soit plus vers une extrémité que vers l'autre ; il est donc , non pas physiquement , mais métaphysiquement , nécessaire qu'il se trouve au milieu. Mais ce n'est que lorsque le levier est d'une pesanteur égale dans toute sa longueur , ou que lorsqu'on fait abstraction de sa pesanteur : car s'il est plus pesant vers une extrémité , ce sera une raison pour que le centre de rotation s'en approche ; puisque cette extrémité sera moins facile à mouvoir , pendant que l'autre sera plus mobile. Il est clair encore que plus le centre de gravité du levier avancera vers la même extrémité , ou que plus cette extrémité sera pesante par rapport à l'autre , plus le centre de conversion doit s'en approcher. Or on doit faire attention que dans le cas dont il s'agit actuellement , le centre de gra-

Fig. 65
 vité, bien loin d'être au milieu du levier auquel la poussée de l'eau & la pesanteur du Navire sont appliquées, se trouve à l'extrémité même dans laquelle agit la pesanteur, ou l'une des deux forces. Ainsi le centre de conversion ne doit pas être au milieu, mais beaucoup plus près du centre de gravité du Vaisseau. C'est ce qu'on voit déjà avec évidence ; & si on examine la chose avec un peu plus d'attention, on s'apercevra que le centre de conversion est dans le centre de gravité même.

II.

Si dans la figure 65 le point g est le métacentre auquel on peut supposer qu'est attachée la force verticale de l'eau, puisque l'action d'une puissance est la même dans tous les points de sa direction ; & que G soit le centre de gravité commun du Vaisseau & de sa charge ; nous pouvons négliger la partie de la poussée verticale de l'eau, de même que celle de la pesanteur totale du Navire, qui agissent selon le levier même gG , pour ne considérer que les seules parties qui agissent perpendiculairement. Les deux forces absolues, la poussée verticale de l'eau & la pesanteur totale du Navire, sont parfaitement égales ; les parties de ces mêmes forces qui agissent perpendiculairement à gE , & qui ne se détruisent pas, parce qu'elles s'exercent sur des lignes qui ne sont pas directement opposées, le sont donc aussi : c'est-à-dire que pendant que le Vaisseau est incliné, ou que gE n'est pas verticale, le métacentre g est poussé selon gZ , précisément avec la même force que le centre de gravité G est poussé vers S . Ce sont ces deux forces relatives qui font prendre à la ligne gE , la situation verticale ge , en faisant tourner le Vaisseau sur le centre G , ou sur quelque autre point : mouvement qui ne peut pas se faire, sans que presque toutes les parties du Navire changent de place. Le point g étant transporté en g , & le point E en e , les autres points changent à proportion : & comme ils ont tous de l'inertie, ou qu'ils

Fig. 65. ne prennent du mouvement qu'en y résistant, la résistance que font tous les points qui sont au-dessus du centre de conversion G , fait le même effet qu'une puissance qui agiroit de M vers P dans le sens contraire au mouvement; en même tems que la résistance de tous les points qui sont au-dessous du centre de conversion, & qui se meuvent de E vers e , doit faire le même effet qu'une puissance égale qui agiroit de N vers Q . Cette résistance ou cette force de *l'inertie* que Képler a reconnu le premier, est incontestable. Tous les phénomènes nous l'annoncent; elle ne se manifeste pas moins, lorsqu'il s'agit de communiquer du mouvement aux corps, que lorsqu'il s'agit de le détruire: de sorte qu'elle est réellement la force avec laquelle chaque chose persiste dans sa manière d'être, & le nom *d'inertie* n'exprime qu'imparfaitement sa nature, puisqu'il ne répond bien qu'à une de ses propriétés.

Nous avons donc en tout quatre forces à considérer; sçavoir, les deux premières qui agissent selon gZ & selon GS , & les deux secondes qui s'exercent selon MP & NQ , & qui ne sont que passives, puisqu'elles ne doivent leur action qu'à celle des deux premières. Il est évident que ces quatre forces doivent être dans un parfait équilibre. Car ce n'est que cet équilibre qui peut limiter l'effet des deux premières puissances, & qui peut l'empêcher d'être plus grand, par cette loi de la Nature qui est toujours inviolablement observée, que l'action & la réaction sont égales. Or pour que les quatre forces dont il s'agit, soient effectivement en équilibre, il faut que la force composée des deux qui agissent selon les directions parallèles gZ & NQ , soit parfaitement égale à la force composée des deux autres qui agissent sur les directions GS & MP parallèles entr'elles, & directement contraires à gZ & à NQ . Et si l'on fait attention que ces forces composées sont égales à la somme des forces qui les composent, à cause du parallélisme des directions, & qu'outre cela la force qui agit selon GZ , & qui naît de
la

la poussée de l'eau, est parfaitement égale à la force qui agit selon GS, & qui naît de la pesanteur totale du Navire, on conclura que les deux autres forces, qui agissent selon MP & NQ, doivent être aussi nécessairement égales. C'est-à-dire que la quantité du mouvement que reçoivent toutes les parties qui sont au-dessus du centre de conversion, doit être égale à la quantité de mouvement que reçoivent les parties qui sont au-dessous.

Fig. 65.

III.

Ainsi la question se réduit à découvrir quel est le point autour duquel il faut que tourne un corps, pour que les quantités de mouvemens que reçoivent les parties supérieures & inférieures, soient toujours parfaitement égales. Mais comme tous les Lecteurs qui sont un peu versés dans les Mécaniques, savent qu'il n'y a que le centre de gravité qui ait cette propriété singulière, par laquelle il est même caractérisé, le Problème est tout résolu; il n'est plus permis de douter que ce ne soit autour de son centre de gravité que le Vaisseau fait ses balancemens. S'il étoit possible qu'il les fît autour de quelque autre point au-dessus de G, le mouvement que recevraient les parties inférieures, seroit plus grand que celui que recevraient les supérieures, & il n'y auroit plus d'équilibre; la résistance ou la force selon NQ, seroit trop grande, & elle retarderoit le transport de toutes les parties GE; ce qui feroit nécessairement descendre le centre de conversion. Il arriveroit tout le contraire, si le Vaisseau tournoit d'abord autour de quelque point situé au-dessous de G. Ce n'est enfin que lorsque le mouvement se fait exactement autour du centre de gravité, que le centre de conversion ne change point. Il faut remarquer qu'on néglige ici la résistance que fait l'eau aux balancemens du Navire; de même qu'on néglige ordinairement la résistance que fait l'air au mouvement des pendules. Cette résistance est comme nulle, par rapport

T t

Fig. 65. aux autres forces que nous considérons , parce que quelque grandes que soient les oscillations du Navire , il n'a jamais , à cause de sa figure , que peu d'eau à déplacer , & qu'il ne la choque qu'avec assez peu de vitesse. On suppose encore que les inclinaisons alternatives ne sont pas assez grandes , pour que le métacentre change sensiblement de hauteur par rapport au centre de gravité.

I V.

Aussi-tôt qu'on s'est convaincu que le Vaisseau fait ses balancemens autour de son centre de gravité , on voit évidemment que la pesanteur ne doit plus tendre à le faire tourner , elle ne travaille qu'à conserver au point G sa stabilité ; & les Balancemens ne sont produits que par la seconde puissance qui agit selon gZ , & qui naît de la force verticale qu'a l'eau pour pousser en haut. Cette puissance agit contre l'inertie , ou contre la résistance que font toutes les parties du Vaisseau à se mouvoir , ou à tourner autour du centre de gravité G ; mais cette puissance , quoique la même , aura plus d'avantage pour vaincre cette inertie , & pour faire balancer le Vaisseau avec vitesse , toutes les fois qu'elle sera appliquée à un bras de levier Gg plus long. Ainsi on voit que toutes les autres circonstances étant les mêmes , plus le centre de gravité du Vaisseau sera bas , plus les mouvemens du roulis doivent être prompts. Ceci est d'autant plus paradoxal , qu'il semble que ce qu'on sçait du mouvement des pendules , dont la longueur rend les vibrations plus lentes , devoit faire attendre autre chose. Mais ce que la Théorie vient de nous apprendre avec évidence , l'expérience l'a déjà confirmé une infinité de fois , au grand étonnement de plusieurs personnes. On est obligé dans plusieurs occasions , de mettre dans la cale une partie de l'artillerie & des autres choses pesantes qui sont sur le pont ; mais on n'a jamais manqué d'éprouver sur le champ que les oscillations du roulis acquerroient une plus grande promptitude.

V.

Sans changer le centre de gravité de place, on peut encore faire varier la durée des balancemens du Vaisseau, selon la situation qu'on donnera aux parties plus ou moins pesantes par rapport à ce centre. Si on éloigne de part & d'autre les choses qui ont le plus de poids, & qu'on rapproche au contraire les plus legeres, ces parties plus pesantes auront ensuite plus de mouvement à prendre dans les oscillations du Navire; elles résisteront par conséquent davantage par leur inertie; & outre cela cette résistance sera appliquée à un bras de levier plus long. C'est une double raison pour que les oscillations se fassent ensuite avec moins de promptitude. Si les choses pesantes sont à deux ou trois fois plus de distance, elles résisteront quatre fois ou neuf fois davantage. Ce sera tout le contraire, lorsqu'on approchera de part & d'autre du centre de gravité les parties d'un grand poids, & qu'on en éloignera les legeres: car les parties pesantes n'ayant ensuite que des arcs de petit cercle à décrire, ou que peu de mouvement à recevoir, elles feront moins ressentir leur inertie, & les vibrations deviendront donc plus promptes. Cependant le centre de gravité sera toujours dans le même endroit, & l'action de la pesanteur totale sera absolument la même, tant qu'il ne s'agira pas des mouvemens que nous considérons actuellement. On reconnoît donc maintenant la vérité de ce qu'on a avancé ci-devant, qu'il ne faut pas se contenter d'examiner la quantité de la pesanteur totale du Vaisseau, & la situation du centre dans lequel elle se réunit; mais qu'il y a encore une troisième particularité à laquelle il faut être extrêmement attentif; sçavoir à la distribution des parties plus legeres & plus pesantes, dont cette pesanteur est formée.

VI.

On peut au reste constater toujours fort aisément cette

T t ij

distribution , & reconnoître si elle ne change pas pendant le voyage , ou si elle est la même dans une campagne que dans une autre ; afin de pouvoir ensuite y apporter les modifications convenables. On ne manque jamais dans les Vaisseaux d'avoir pour les besoins indispensables du Pilotage , plusieurs horloges ou sabliers d'une minute , ou d'une demi-minute. Il est toujours facile , après qu'on s'est assuré par les moyens déjà expliqués que la pesanteur du Navire est la même , & qu'elle se réunit exactement dans le même centre , de voir combien le roulis fait faire de balancemens ou d'oscillations dans une minute , ou dans tout autre tems. S'il en fait toujours faire le même nombre , ce sera une marque que la distribution des choses pesantes & legeres , sera exactement la même ; au lieu que si l'on y trouve de la différence , on apprendra non-seulement que la distribution est différente , on sçaura ce qu'il y aura à y changer. Il faudra pour faire l'expérience avec succès , choisir exprès le tems où la Mer est peu agitée ; car ce n'est qu'alors que les oscillations du Vaisseau sont sensiblement isochrones. Il est bien clair que si pendant que le Vaisseau *roule* , une force étrangere vient lui imprimer de nouveaux balancemens , elle alterera presque toujours la régularité des premiers. J'ai remarqué plusieurs fois , en m'en revenant sur le *Triton* , petit Navire de Nantes d'environ 180 tonneaux , que chaque oscillation étoit d'un peu plus de $4\frac{1}{2}''$, & souvent ce Navire en faisoit 14 ou 15 de suite ; au lieu que d'autres Bâtimens en font 30 ou 40.

Le roulis est-il trop vif , & craint-on qu'il fasse tomber les mâts ? on pourroit remédier à cet inconvénient en élevant le centre de gravité ; mais comme le Navire porteroit ensuite moins bien la voile , & qu'on courroit de plus grands risques , il vaut infiniment mieux , en laissant toujours le centre de gravité dans la même place , ou même en le portant encore plus bas , en éloigner le plus qu'on peut les choses qui sont d'un plus grand poids , & en rapprocher au contraire celles qui sont plus legeres. Lors-

que dans le Chapitre III. de la premiere Section de ce second Livre, on a parlé du soufflage ou du renflement qu'on fait quelquefois à la carène, on a montré, contre le sentiment ordinaire, qu'il ne pouvoit pas faire tort à la Navigation par sa pesanteur: il n'étoit pas tems de dire alors, & on ne nous eût pas cru, qu'il nuisoit plus souvent par son trop de legereté, sur-tout lorsqu'au lieu d'appliquer les nouveaux bordages sur les anciens, on les pose sur des tacquets. On voit maintenant qu'on ne sçauroit le former de matieres trop pesantes, ni en introduire aussi de trop pesantes dans le doublage. Ce sera déjà un lest placé avantageusement que le Vaisseau portera toujours avec lui; & il n'y aura qu'à en mettre une moindre quantité d'autre. Il y a toute apparence que ce qu'on vient de dire, suffit pour l'usage ordinaire: Nous croyons avoir déjà répandu un grand jour sur tout ce que les Marins nomment *arrimage*: afin néanmoins d'éclaircir davantage toute cette matiere, nous allons ajouter encore la solution de quelques Problèmes qui y apartiennent.

CHAPITRE II.

Connoissant la figure du Vaisseau & la distribution de ses parties, trouver la durée de ses oscillations, ou de ses balancemens dans le roulis.

I.

ON ne sçauroit mieux exprimer la durée des oscillations d'un Vaisseau sujet au roulis, que par la longueur d'un pendule simple, dont les vibrations soient synchrones ou de même durée. C'est donner à cette durée une mesure connue: car on sçait les tems qu'employent dans leurs oscillations les pendules de toutes les diverses longueurs: ces tems sont comme les racines quarrées des longueurs; de sorte qu'un pendule 4 fois ou 9 fois plus long, ne met que deux ou trois fois plus de

Fig 65. &
66.

tems à faire ses vibrations. Je nomme z la longueur de ce pendule qui s'accorderoit dans ses balancemens avec le Navire, & g la vitesse que lui donneroit la pesanteur. Je désigne par P la pesanteur ou masse totale du Vaisseau formée des masses particulieres $T, t, \&c.$ (Fig. 66) de toutes les parties qui sont éloignées du centre de gravité G des distances $D, d, \&c.$

Toutes ces parties doivent dans le roulis recevoir d'autant plus de vitesse, qu'elles sont plus éloignées du centre de gravité G , puisqu'elles décrivent des arcs de plus grand cercle; & comme les oscillations du Vaisseau sont synchrones avec celle du pendule, nous pouvons faire cette analogie: la longueur z de ce pendule est à la vitesse g , comme les distances D ou $d, \&c.$ sont aux vitesses $\frac{gD}{z}$ ou $\frac{gd}{z}, \&c.$ que prendront les différentes parties du Vaisseau, selon leur distance du centre de gravité autour duquel elles se balancent. Les vitesses de ces parties multipliées par leur masse ou par leur pesanteur particuliere $T, t, \&c.$ nous aurons $T \times \frac{gD}{z}, t \times \frac{gd}{z}, \&c.$ pour le mouvement de rotation de ces parties, mouvement qui est produit par l'action de la poussée verticale de l'eau appliquée en g . Mais ce mouvement qui ne se reçoit qu'avec peine, résiste, comme nous l'avons déjà assez expliqué, & résiste d'autant plus qu'il est appliqué à une plus grande distance du centre de gravité qui sert dans la circonstance présente de point d'appui ou d'hypomoclion. Il faut donc multiplier les mouvemens $T \times \frac{gD}{z}$ & $t \times \frac{gd}{z}, \&c.$ par les distances D & $d, \&c.$ pour en avoir le moment ou l'énergie; & il viendra $T \times \frac{gD^2}{z} + t \times \frac{gd^2}{z} + \&c.$ pour le moment de la résistance que font toutes les parties du Vaisseau à tourner autour du centre G .

Ce moment doit être égal à celui de la poussée de l'eau, qui tend à faire tourner le Navire. Cette poussée étant égale à la pesanteur du Vaisseau, est exprimée par le

produit Pg de la masse P par la vitesse g , que communie la gravité par son action simple. Mais la force Pg étant appliquée en g au bras du levier $gG = k$, a pour moment Pgk . Ainsi nous avons l'équation $T \times \frac{gD^2}{z} + t \times \frac{gd^2}{z} + \&c. = Pgk$, dont on tire la formule $z = \frac{T \times D^2 + t \times d^2 + \&c.}{Pk}$

qui nous donne cette règle générale pour trouver la longueur z du pendule simple, dont les oscillations sont de même durée que celle du Vaisseau. *C'est de multiplier la pesanteur de toutes les parties du Navire par le quarré de leur distance particuliere en centre de gravité G , & de diviser la somme ($T \times D^2 + t \times d^2 + \&c.$) de tous ces produits par la pesanteur totale P du Vaisseau multipliée par la quantité (k), dont le centre de gravité est au-dessous du métacentre; & il viendra au quotient la longueur requise du pendule synchrone.*

Cette règle, ou ce qui est la même chose, la formule $z = \frac{T \times D^2 + t \times d^2 + \&c.}{Pk}$, nous confirme les remarques faites dans le Chapitre précédent, & peut nous en suggerer de nouvelles, sur le plus ou le moins de promptitude des oscillations du roulis. Puisque ces oscillations s'accordent avec celles du pendule, dont les longueurs z sont en raison inverse de k , il doit arriver, comme nous l'avons déjà dit dans les balancemens du Vaisseau, le contraire de ce qui arrive dans le mouvement des pendules simples. *Les durées des oscillations qui sont comme les racines quarrées de z , doivent être en raison inverse des racines quarrées des quantités k , dont le centre de gravité du Vaisseau est au-dessous du métacentre.* Si cette quantité k est quatre fois plus petite, les oscillations se feront avec deux fois plus de lenteur : si k est 100 fois plus petite, les mouvemens du roulis seront dix fois moins vifs : car la longueur z du pendule synchrone sera 100 fois plus grande ; & un pendule 100 fois plus long, met 10 fois plus de tems à faire ses vibrations.

On voit avec la même évidence que plus les diverses

Fig. 66. parties du Vaisseau seront éloignées du centre de gravité ; plus le pendule synchrone aura de longueur , & on voit même que cette longueur est proportionnelle aux quarrés des distances D : d'où il suit que les durées des oscillations qui sont comme les racines quarrées des longueurs des pendules seront comme les distances mêmes D . C'est-à-dire , que si toutes les distances sont trois ou quatre fois plus grandes , les oscillations du roulis se feront trois ou quatre fois plus lentement.

Nous supprimons quelques autres réflexions pour nous borner à cette dernière : *Que si deux Vaisseaux sont parfaitement semblables , ou s'ils ont simplement pour coupes verticales , faites perpendiculairement à leur longueur , des figures semblables , la durée de leurs oscillations sera comme la racine quarrée de la largeur ou de quelqu'autre dimension simple des coupes ; de sorte que si la largeur de l'un est , par exemple , quadruple de celle de l'autre , le premier fera ses balancemens deux fois plus lentement. Il n'y a , pour en voir la raison , qu'à supposer que les deux Vaisseaux sont divisés en un égal nombre de parties ; mais de parties plus petites ou plus grandes proportionnellement. De là il s'ensuivra que le rapport des pesanteurs particulieres T à la pesanteur totale P sera toujours le même , & que la longueur z du pendule synchrone ne variera qu'à cause du changement que reçoit le rapport ou la fraction $\frac{D^2 + d^2 + \&c.}{k}$. Or comme ces distances D & la quantité k changent dans le même rapport , la fraction $\frac{D^2 + d^2 + \&c.}{k}$ doit changer dans la raison simple des distances D , ou en même raison que les largeurs du Navire. C'est-à-dire , que si le Navire est deux ou trois fois plus large , le pendule synchrone sera deux ou trois fois plus long , & les durées des oscillations seront donc comme les racines quarrées de deux ou de trois ; ou en général comme les racines quarrées des largeurs.*

III.

Au surplus , l'application de notre règle ne sera jamais difficile

difficile , soit qu'on considère le Vaisseau comme un corps géométrique homogène , soit qu'on le considère dans son état actuel & comme formé d'un nombre fini de parties de différentes pesanteurs. Supposé que le Navire ait la figure d'un parallélépipède rectangle dont la pesanteur soit également distribuée par tout , & qu'on exprime la largeur & la profondeur par a & b , on trouvera $\frac{1}{12} ab^3 + \frac{1}{12} a^3 b$ pour le moment du mouvement de toutes les parties autour du centre de gravité. C'est ce moment qu'il faut diviser par le produit de la pesanteur totale du Navire multipliée par la hauteur du métacentre au-dessus du centre de gravité. Cette

hauteur est $\frac{a^2}{12c} + \frac{1}{2}c + \frac{1}{2}b^*$, aussi-tôt qu'on nomme toujours a la largeur du Bâtiment & c la quantité dont il plonge dans la Mer ; & si on multiplie cette hauteur par le rectangle ab , qui est la coupe verticale faite perpendiculairement à la longueur du Navire , & qui doit représenter la pesanteur totale dans le cas présent , on aura le produit $\frac{a^3b}{12c} + \frac{1}{2}abc - \frac{1}{2}ab^2$, par lequel il faut diviser le moment $\frac{1}{12} ab^3 + \frac{1}{12} a^3 b$; & il viendra $\frac{b^2c + a^2c}{a^2 + bc^2 - 6b^2}$ pour la longueur du pendule synchrone.

* Voyez la Chap. III. de la Sect. précédente.

S'il s'agissoit particulièrement de l'Arche de Noé qui avoit 50 coudées de largeur , & qu'on supposât , comme nous l'avons déjà fait , que ce Bâtiment enfonçoit dans les eaux du Déluge de 10 coudées , ou du tiers de sa hauteur , on auroit alors $\frac{b^3 + a^2b}{3a^2 - 4b^2}$, qui nous apprend que le pendule simple synchrone étoit de $26 \frac{2}{3}$ coudées. On ne sçait pas avec certitude le rapport de cette ancienne mesure avec les nôtres ; mais si on la suppose de $1 \frac{1}{2}$ pied , le pendule synchrone sera de $39 \frac{1}{3}$ pieds dont les oscillations sont de $3'' 33'''$ à proportion du pendule simple de 36 pouces $8 \frac{1}{2}$ lignes , qui en France & dans tous les autres pays qui sont à peu près par la même latitude , bat exactement les secondes , ou qui met 60 tierces à faire chaque oscillation simple. C'est ce qu'on trouve par cette analogie ; 36 pouces $8 \frac{1}{2}$

Vu

Fig. 66. lignes en à 3600 quarré de 60 tierces , comme $39 \frac{1}{3}$ pieds est à 45496 dont la racine quarrée est 213 tierces ou 3 secondes 33 tierces. Ainsi les balancemens de l'Arche devoient être extrêmement vifs ; à moins que la distribution de sa charge , comme il y a lieu de le croire , ne contribuât à les rendre plus lents.

I V.

C'est la même chose dans tous les Navires qui n'ont point d'artillerie & qui sont démâtés. La mâture , quoique peu pesante par raport au reste du Vaisseau , s'opose extrêmement à la vitesse des balancemens , parce que sa grande hauteur fait qu'elle a un grand arc de cercle à décrire ou beaucoup de mouvement à recevoir , & qu'elle y résiste à proportion , en ne prenant ce mouvement qu'avec difficulté. Il lui arriveroit même souvent , sans les haubans , les étays & tous les autres cordages qui la soutiennent , ce qui arrive quelquefois à une baguette , qui se refusant à la trop grande vitesse que la main tend à lui imprimer , se rompt par le bas , pendant que son extrémité supérieure reste en arriere. Il est évident qu'on peut se servir de notre regle pour trouver immédiatement la longueur du pendule synchrone , aussi-bien pour les Vaisseaux mâtés que pour ceux qui ne le sont pas : mais après qu'on aura fait cette recherche pour le Navire considéré , il n'importe en quel état , on peut , lorsqu'on fait quelque changement , quoique considérable à la distribution de la charge ou de quelqu'autre partie , s'aider toujours de la premiere détermination , & se contenter de découvrir l'effet particulier que doit produire le nouvel arrangement.



CHAPITRE III.

*Trouver le changement que doit apporter aux balance-
mens du roulis la transposition de quelques parties
dans le Vaisseau, avec quelques remarques sur le
tangage.*

I.

SOIT qu'on mâte un Vaisseau qui ne l'étoit pas, ou qu'on lui fasse quelqu'autre changement, il n'y aura jamais de difficulté à découvrir par les regles ordinaires de la Statique, combien son centre de gravité aura changé de place. Lors qu'on augmente ou qu'on diminue la pesanteur totale du Navire, il arrive aussi que la carène ou la partie sumergée n'est plus la même, & que par conséquent le métacentre se trouve plus haut ou plus bas. Mais toutes les fois qu'on ne fera qu'une simple transposition de parties dans le Vaisseau, le métacentre ne changeant point, il n'y aura que le centre de gravité qui souffrira quelque variation. Nous supposons ce changement déjà découvert, & que le Vaisseau (Fig. 66) qui avoit son centre de gravité en G , l'a maintenant en γ ; il est donc principalement question de trouver combien le moment ou l'énergie du mouvement de toutes les parties du Vaisseau, augmente ou diminue lorsque le mouvement de rotation se fait autour du centre γ , au lieu de se faire autour de G . On nommera S ce moment total par rapport au centre G : si on ne l'a pas encore trouvé par l'application de la règle, on le découvrira toujours aisément par l'expérience, en examinant avec un sablier la durée des oscillations du roulis. Supposé que P désigne encore la pesanteur totale du Vaisseau; k la hauteur du métacentre au-dessus du centre de gravité, & z la longueur du pendule synchrone,

Vu ij

Fig. 66.

Fig. 66. on aura $z = \frac{S}{Pk}$ dont on tirera $S = Pkz$, qui exprime en grandeurs parfaitement connues la somme S qu'on vouloit avoir, de tous les momens par rapport au centre G . Cette somme totale des momens est égale, comme on le voit, au produit de la pesanteur du Navire par la hauteur du métacentre au-dessus du centre de gravité, & par la longueur du pendule synchrone ou du pendule qui fait ses oscillations précisément dans le même tems que le Vaisseau fait ses balancemens.

I I.

Mais ce moment ne doit plus être le même aussi-tôt que le Vaisseau roule sur un autre point γ . Si ce nouveau centre de gravité est plus bas, toutes les parties supérieures comme T , en seront plus éloignées, & le quarré des distances $T\gamma$, par lequel la masse de chaque partie doit être multipliée, sera précisément plus grand de la quantité dont le quarré de $I\gamma$ est plus grand que celui de IG . Il ne faut pour le voir que faire attention que le quarré de $T\gamma$ est égal au quarré de TI & de $I\gamma$; au lieu que celui de TG étoit égal à ceux de TI & de IG . Ainsi le quarré de la distance $T\gamma$ est plus grand que celui de TG de deux rectangles de IG par $G\gamma$, & outre cela du quarré de $G\gamma$. Le quarré de la distance des parties inférieures comme t , changera en même tems & par la même raison du quarré de $G\gamma$, moins deux rectangles de Gi par $G\gamma$. Mais le produit de toutes les parties variables GI par la pesanteur des parties supérieures correspondantes T étant égal (à cause de la propriété du centre de gravité) au produit de toutes les parties variables Gi par la pesanteur des parties inférieures, les produits multipliés de part & d'autre par $G\gamma$, ou par le double de $G\gamma$, doivent être encore égaux; & puis qu'ils sont positifs pour les parties supérieures & négatifs pour les inférieures, ils doivent se détruire dans la somme totale, laquelle ne doit par conséquent recevoir aucune alteration par cet endroit. Il n'y a donc que les quarrés de $G\gamma$ qui étant additifs de

part & d'autre, doivent, en se multipliant par toutes les parties tant supérieures qu'inférieures du Vaisseau, faire augmenter la somme des momens. Ainsi cette somme qui étoit désignée auparavant par S , le doit être maintenant par $S + P \times \overline{G\gamma}^2$. Et il est donc démontré qu'aussi-tôt que le Vaisseau ou tout autre corps tourne sur un point différent de son centre de gravité, le moment des mouvemens de toutes les parties se trouve toujours plus grand; & qu'il l'est du produit de la masse du corps par le quarré de la distance du centre de rotation au centre de gravité. Fig. 66.

III

Il ne reste plus après cela qu'à remarquer que dans l'expression $S + P \times \overline{G\gamma}^2$ du moment total, la transposition des parties n'est comptée pour rien, & que le changement découvert ne vient simplement que de ce qu'on considère le mouvement de rotation autour du point γ , au lieu de le considérer autour du point G . Ainsi lorsqu'on a ajouté quelques nouveaux poids ou lorsqu'on en a transposé quelques uns, il faut encore examiner expressement le moment particulier de ces parties ou le changement qu'il a reçu & l'ajouter à $S + P \times \overline{G\gamma}^2$. S'il s'agit de parties simplement transposées, & qu'elles fussent éloignées de la distance D du centre γ dans leur première situation, & de la distance d dans la seconde, & qu'on désigne par p leur pesanteur, le changement que souffrira le moment de leur mouvement sera représenté par $p \times d^2 - D^2$, & ce sera cette quantité qu'il faudra ajouter à $S + P \times \overline{G\gamma}^2$ pour avoir le moment total $S + P \times \overline{G\gamma}^2 + p \times d^2 - D^2$, eu égard à tout. Enfin divisant ce moment selon la règle par la pesanteur totale P du Vaisseau multipliée par k , qui désigne la quantité dont le nouveau centre de gravité γ est au-dessous du métacentre, il viendra $\frac{S + P \times \overline{G\gamma}^2 + p \times d^2 - D^2}{P \times k}$ pour la lon-

Vu iij

Fig. 66. gueur requise du pendule , dont les oscillations sont précisément de même durée que celles du Navire , après le changement fait dans la situation de ses parties.

I V.

Prenons pour exemple un Vaisseau dont la pesanteur totale P est de 3000 tonneaux , dont le centre de gravité est quatre pieds au-dessous du métacentre & dont les balancemens dans le roulis sont de 5 secondes , ou sont de même durée que celles d'un pendule simple d'environ $76 \frac{1}{2}$ pieds. Si en abattant la mâture qui peut peser 70 tonneaux , on remplace sa pesanteur par un poids égal mis à 10 pieds de distance de l'endroit où se trouvera ensuite le centre de gravité , qui aura , on le suppose , descendu de $1 \frac{1}{2}$ pieds , on aura $P \times G\gamma = 6740$, (produit de 3000 tonneaux par le quarré de $1 \frac{1}{2}$ pied) qu'il faudra ajouter à $S = Pkz = 918000$, & il viendra 924750 pour $S + P \times G\gamma$. Mais comme la mâture , lorsqu'elle étoit en pied , faisoit à peu près le même effet que si elle avoit été réunie dans un point élevé de $83 \frac{1}{2}$ pieds au-dessus du centre de gravité G , & de 85 au-dessus de γ , la valeur de $p \times d^2 - D^2 = 70 \times 10 - 85 = 498750$ sera négative , & nous aurons par conséquent 426000 , pour le moment total $S + P \times G\gamma + p \times d^2 - D^2$. Enfin si l'on divise ce moment par 16500 qui est le produit de 3000 tonneaux par la valeur $5 \frac{1}{2}$ pieds qu'à actuellement k , puisque le centre de gravité du Vaisseau est descendu de $1 \frac{1}{2}$ pied , il ne viendra pas tout à fait 26 pieds pour la longueur du pendule , dont les oscillations seront synchrones avec celles du roulis. Cela nous apprend que les balancemens du Vaisseau seroient beaucoup plus vifs ; ils le seroient en même raison que la racine quarrée de $76 \frac{1}{2}$ pieds est plus grande que celle de 26 ; puisque les durées des oscillations sont comme les racines quarrées des longueurs des pendules. Le Vaisseau

qui employoit 5 secondes à faire chaque balancement simple, c'est-à-dire, à tomber d'un bord à l'autre, en emploieroit ensuite moins de 3 ; il n'emploieroit que 2 secondes 53 tierces. La différence pēut, de cette sorte, aller assez loin, pour qu'il soit quelquefois impossible aux meilleurs Matelots de se tenir sur le Pont, & pour qu'on ait aussi tout à craindre d'un roulis si rude.

V.

Il faut remarquer qu'on ne peut rien appliquer de ce que nous venons de dire, aux balancemens du tangage, parce qu'ils ne se perpetuent pas de la même façon que ceux du roulis. Le Navire ne pouvant pas faire d'oscillations dans le sens de sa longueur, sans déplacer beaucoup d'eau vers l'avant & vers l'arriere par le grand mouvement que reçoivent ses deux extrémités, ces balancemens ne peuvent continuer d'eux mêmes ; ils ne doivent se répéter qu'autant qu'ils sont reproduits derechef par l'agitation de la Mer qui ne cesse pas. Le fort de la sécouffe se fait ressentir lorsque la prouë ou la poupe cessant d'être assez soutenue, retombe tout à coup par son poids. L'arcaste qui en est ébranlée est quelquefois frappée avec tant de violence, que le plus grand nombre des Marins croient que certains Navires sont sujets à *acculer* ; c'est-à-dire, à reculer pendant quelques instans de leur marche ; comme si un Vaisseau qui fingle à toutes voiles, qui fait deux ou trois lieuës par heure, & 10 à 12 pieds par seconde, pouvoit aller tout à coup en sens contraire, & reprendre dans le même instant toute sa vitesse dans le premier sens. Nous avons dit dans le premier Livre qu'il n'y a qu'à grossir un peu la prouë & la poupe, afin qu'elles retrouvent plutôt en tombant le soutien dont elles ont besoin. On doit pour se conformer à ce conseil, ou à ce précepte, se souvenir entre autres choses de ne pas trop augmenter la hauteur des façons, principalement par devant. Lorsque cette hauteur est portée trop loin, ou lorsque le corps proprement dit de la prouë est trop élevé au-dessus de la quille, pour peu que la Mer

se retire de dessous , toute l'extrémité du Navire se trouve en l'air. Ce ne sera pas la même chose , lorsque la hauteur des façons sera médiocre , quoique la prouë soit plus étroite : sa partie d'en bas occupera toujours quelque place dans l'eau dont elle ne sortira jamais ; & la poussée verticale de la Mer moderera nécessairement la vitesse de la chute.

Un dernier moyen qui suppléera à tous les autres , au moins dans les Corvettes & dans tous les autres Navires dont il n'est question que d'accélérer la marche ; c'est d'accumuler le lest vers le milieu de la carène & d'en débarrasser totalement les extrémités , qu'on s'attachera en même tems à rendre les plus legeres qu'il sera possible. Il est d'usage de rejeter vers la prouë & vers la poupe plusieurs choses très-pesantes, qu'on pourra souvent mettre ailleurs , en se gênant un peu. Il faut outre cela distribuer le lest tout le long de la cale , & faire en sorte que chaque endroit du Navire pese à proportion de l'espace qu'il occupe dans la Mer , lorsqu'on veut empêcher le Navire de s'arquer ; mais si on méprise ce dernier inconvenient , comme cela est permis dans certaines rencontres , l'expédient que nous proposons , doit être infailible. Tout le poids étant rassemblé vers le milieu de la longueur du Navire , ce poids ne cessera jamais d'être suffisamment soutenu par la Mer , & les deux extrémités étant vuides , ne pourront retomber qu'avec lenteur , lorsqu'elles se trouveront en l'air ; puisqu'elles n'auront pas la force d'imprimer du mouvement au reste , & de l'entraîner tout à coup en vainquant son inertie. Ce moyen , pour suspendre les mauvais effets du tangage , n'empêchera pas de prendre toutes les mesures que nous avons indiquées contre le roulis. On peut porter le plus grand poids vers le milieu de la carène , & mettre avec la même facilité le centre de gravité plus haut ou plus bas ; de même qu'éloigner ou rapprocher de l'axe qui passe par ce point , les parties les plus pesantes de la charge.

VI.

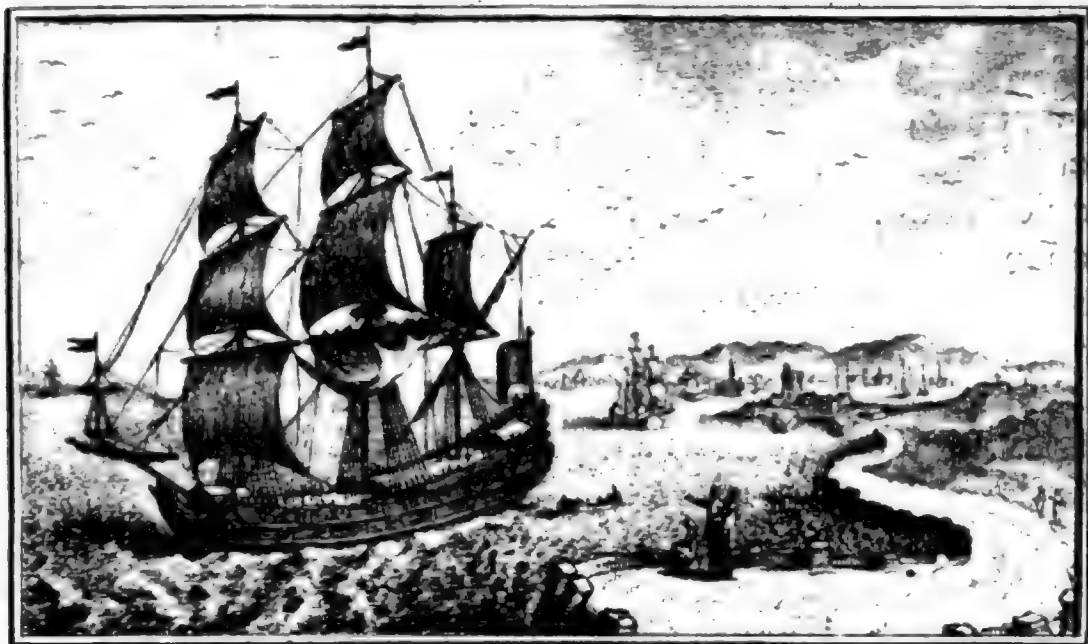
Au reste nous ne plaignons pas les détails dans lesquels nous sommes entrés au sujet de la disposition du centre de gravité du Vaisseau, & de la distribution de sa charge ou de son lest. Ces détails sont de la dernière importance : le Lecteur qui nous a suivi dans les recherches précédentes, en conviendra sans doute : le plus grand des intérêts, le salut des Marins y est attaché, & d'un autre côté presque tous les succès de la Navigation en dépendent. On voit tous les jours que les Constructeurs entreprennent de donner à deux Vaisseaux précisément les mêmes gabaris, afin de les rendre également bons voiliers ; ils réussissent même à leur donner si exactement la même figure qu'on n'y remarque pas la moindre inégalité. Mais à peine les Vaisseaux sortent-ils du Port que leur différence se manifeste, & qu'on voit avec le plus grand étonnement, qu'ils ont par rapport à la marche des qualités très-différentes. Nous n'avons garde d'attribuer ces variétés aux causes * chimeriques (nous ne pouvons pas employer d'autres termes) auxquelles on s'est trouvé souvent obligé de recourir. Mais d'où peut donc venir la différence, si ce n'est de ce que le centre de gravité, dont on ne se donne pas la peine d'examiner la situation, n'est pas précisément dans le même endroit : ou supposé que ce centre se trouve par hasard dans la même place, de ce qu'on a donné sans s'en aper-

* On s'est souvent imaginé que la marche plus ou moins rapide dépendoit de quelques coins mis en certains endroits, d'un cordage tendu ou lâche, d'un certain pavillon exposé au vent, d'un poids très-médiocre, comme de 15 ou 20 livres suspendu en quelque endroit, &c. Il n'y a presque point de Marins, qui faute de connoître les vraies causes des changemens qu'il a quelquefois aperçû, n'assure avoir expérimenté quelque chose de semblable. Il est aussi très-ordinaire dans les cas pressans de scier le vibord du Navire & de délier plusieurs pieces qui ne sçauroient être trop jointes. Leur jeu ou leur frémissement devient plus grand ; & on pense que le mouvement du Navire est plus rapide, parce qu'il est devenu plus sensible. C'est à peu près comme si quelqu'un s'imaginait aller plus vite dans une Chaise de poste mal suspendue, parce qu'il se sent plus cahoté.

346 T R A I T É D U N A V I R E ,
cevoir une autre distribution à la pesanteur par rapport à
ce point ? L'inclinaison étant poussée plus ou moins loin ,
ou les balancemens du roulis plus ou moins grands , la
partie submergée de la carène n'est plus la même , & le
Navire devient ensuite , pour ainsi dire , un Vaisseau tout
différent , & qui n'a plus les mêmes qualités.

Fin du second Livre.





TRAITÉ DU NAVIRE, DE SA CONSTRUCTION, ET DE SES MOUVEMENTS.

LIVRE TROISIÈME.

Du Vaisseau considéré en mouvement.

Jam vagus irrupit Pelago.

Claud.

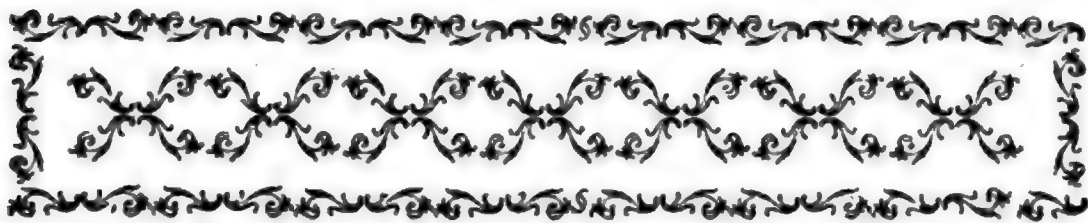


PRES avoir traité du Vaisseau lorsqu'il flote en repos , nous devons le considérer en mouvement , & discuter ses bonnes & ses mauvaises qualités dans cet état. Nous devons principalement examiner s'il obéira aisément à tous les mouvemens qu'on voudra leur imprimer , s'il fera sujet à peu de dérive dans les routes

Xx ij

obliques, s'il singlera avec vitesse; en même tems que nous ne pouvons pas nous dispenser de distinguer toutes les circonstances dont ces qualités dépendent, les relations qu'elles ont entr'elles, les loix qu'elles suivent dans leurs changemens. On voit assez que ces matieres tiennent à beaucoup d'autres, & que le sujet est extrêmement compliqué; ainsi nous décomposerons le tout par parties, afin d'avoir la liberté de passer des unes aux autres toutes les fois que nous croirons gagner quelque chose du côté de la facilité ou de la clarté.





P R E M I E R E S E C T I O N .

Où l'on examine les loix que les Fluides observent dans leur choc ; le Vent en frappant les Voiles , & l'Eau en rencontrant la partie antérieure de la Carène.

C H A P I T R E P R E M I E R .

De la maniere dont l'impulsion du Vent sur la Voile & le choc de l'Eau sur la Prouë , contribuent au sillage du Navire.

TANT que le Vaisseau flotte librement dans le Port , il n'est sujet , comme on la vû dans le Livre précédent , qu'à l'action de deux puissances , l'action de sa propre pesanteur & celle de la *poussée verticale* de l'eau. Aussitôt qu'il est sous voile & qu'il singe , il y a deux autres forces à considérer , l'impulsion du vent sur les voiles & la résistance de l'eau contre la prouë. L'impulsion du vent fait avancer le Navire , le met en mouvement ; & de ce mouvement naît nécessairement la résistance de l'eau ou son impulsion sur la prouë , ou sur le flanc de la carène , selon que la route est directe ou oblique. Ce sont en tout quatre forces ; & puisque nous avons déjà examiné en particulier les deux premières ; il est maintenant question de considérer principalement les deux dernières , & de voir ce qui résulte de leur combinaison avec les deux autres.

Il faut bien distinguer le choc de l'eau sur la prouë, de la *poussée verticale*, ou de cette force avec laquelle la Mer pousse continuellement en haut. Au lieu que cette dernière ne dépend que du volume d'eau dont la carène occupe la place & ne reçoit aucun changement du plus ou du moins de rapidité du sillage, le choc que souffre la prouë doit augmenter ou diminuer, selon que la vitesse du Vaisseau est plus ou moins grande; puisque la prouë ne peut pas rencontrer l'eau avec plus de rapidité, sans en être repoussée avec plus de force. On ne doit enfin négliger l'action d'aucune des quatre puissances que nous venons de spécifier; car il est certain qu'elles sont les seules causes & du mouvement du Vaisseau & de toutes les situations qu'il prend.

Le Navire en partant du Port n'acquiere son mouvement que par degrés infiniment petits; à peu près de la même manière que les graves dans leur chute, ne parviennent à une certaine vitesse que par une action réitérée une infinité de fois de la part de la pesanteur. D'abord l'impulsion du vent lui imprime de trop grands degrés de vitesse, pour que la résistance de l'eau puisse les détruire entièrement. Car la vitesse du sillage étant dans les premiers instans très-petite, la résistance de l'eau qui en dépend doit être aussi très-foible; mais à mesure que le Navire se meut plus vite, il se soustrait pour ainsi dire davantage à l'action du vent; & les voiles sont frappées avec moins de force: au lieu que c'est tout le contraire de l'impulsion de l'eau contre la prouë, parce qu'elle augmente par la vélocité du Navire. Ainsi les nouveaux degrés que l'effort de la voile ajoute au mouvement du Vaisseau, vont continuellement en diminuant, pendant que ceux que retranche la résistance de l'eau contre la prouë croissent au contraire sans cesse. Tant que les degrés ajoutés sont plus grands que les degrés retranchés, le sillage accélère sa vitesse: mais enfin ces divers degrés sont-ils parvenus à l'égalité, ou l'impulsion du vent sur les voiles a-t-elle assez perdu de sa force, pour ne pas plus agir dans un sens que la résistance de l'eau con-

tre la prouë dans le sens oposé, le Navire ne doit plus augmenter sa vitesse, & doit se mouvoir d'un mouvement parfaitement uniforme.

Fig. 67.

Tout cela s'accomplit en très-peu de tems, en beaucoup moins qu'il n'en faut ordinairement pour développer toutes les voiles & pour les disposer. Ce qui nous dispense de montrer que le Problème de l'accélération du sillage se réduit aux Logarithmes ou dépend de la quadrature de l'hyperbole : car nous évitons avec soin toutes les discussions géométriques qui ne sont pas d'une nécessité indispensable. Le grand poids du Navire peut être cause qu'il tarde un peu à parvenir à sa plus grande vitesse, mais ce poids ne fait rien au degré même de cette vitesse ; & aussi-tôt que le Navire l'a une fois acquise, il avance ensuite par son seul mouvement propre ou intrinseque ; & il ne doit ni recevoir de nouveaux degrés ni en perdre. Il doit se mouvoir comme s'il se mouvoit par ses propres forces dans le vuide, sans être désormais sujet ni à l'action du vent sur les voiles, ni à celle de l'eau contre la prouë. Si à chaque instant, l'impulsion de l'eau tend encore à détruire quelques petites parties de sa vitesse, l'impulsion du vent sur les voiles qui est parfaitement simultanée, tend à les reparer : de cette sorte son mouvement ne souffre aucune altération. Mais on doit remarquer que ce n'est pas assez pour cela que les efforts du vent & de l'eau, dans le sens horizontal, soient parfaitement égaux ; il faut encore qu'ils soient directement contraires, autrement ils ne suspendroient pas entierement l'effet l'un de l'autre ; les petits degrés de vitesse communiqués par le vent, ne seroient pas exactement détruits par l'impulsion de l'eau, & le Navire perdrait de l'uniformité de son sillage.

Pour voir tout ceci plus évidemment, on n'a qu'à jeter les yeux sur la Figure 67, qui représente la coupe horizontale du Vaisseau fait à fleur d'eau ; A est la prouë & B est la poupe ; DE la voile & VC la direction du vent qui souffle de V vers C. Il faut bien remarquer que la direction CF, selon laquelle la voile DE est poussée, n'est pas la

Fig. 67.

même que la direction du vent, & qu'elle ne dépend que de la seule situation de la voile avec laquelle elle fait toujours un angle droit. Le vent ne peut agir que selon le seul sens perpendiculaire; parce que l'autre partie de son mouvement, celle qui s'exerce dans le sens parallèle à la voile ne peut faire aucune impression. Ainsi que le vent frappe la voile plus ou moins perpendiculairement, il fera une impression plus ou moins grande; de même qu'une pierre qui rencontre une muraille avec la même vitesse sous divers angles, la frappe plus ou moins fort: mais l'action à laquelle la voile DE sera sujette, ne tombera toujours que sur la perpendiculaire CF & tout le reste de l'effort se trouvera perdu. Par une raison semblable, quoique le Navire se meuve selon la ligne CH ou que cette ligne CH soit sa route qui diffère de la direction de la quille BA, parce que la voile le pousse de côté; & quoique ce soit précisément le même cas que si le Vaisseau étoit en repos, & que les parties de l'eau en mouvement vinssent choquer la proue en suivant la ligne HC & des parallèles à cette ligne, il n'est pas cependant repoussé par l'eau selon la ligne HC, mais selon une autre ligne qui dépend de la figure de la proue & de la disposition de toutes les parties de sa surface courbe les unes par rapport aux autres. Chaque partie est poussée par la rencontre de l'eau selon le sens perpendiculaire, & de tous ces efforts particuliers, il en résulte un dernier ou total, qui s'exerce sur une direction moyenne. Or comme nous l'avons dit, ce n'est pas assez que la résistance de l'eau ou son choc contre la proue soit parfaitement égal à l'impulsion du vent sur la voile, si ces deux forces n'agissent pas sur la même ligne CF en sens directement opposés. Sans cela l'effort de la voile selon CF imprimerait sans cesse quelque nouveau degré CI de mouvement au Vaisseau; & ce mouvement se joignant ou se composant avec celui CH qu'a déjà le Navire selon la route CH qu'il suit, formerait le mouvement Ch exprimé par la diagonale du parallélogramme CH/I; & le Navire embrasseroit donc continuellement une nouvelle route Ch. Ce ne sera plus la même

même chose, aussi-tôt que la résistance de l'eau égale à l'impulsion du vent, s'exercera sur la direction FC en sens exactement contraire; car elle détruira sur le champ le degré de vitesse CI communiqué par la voile, & rien ne pouvant alterer le mouvement déjà acquis CH, le Vaisseau ne pourra pas manquer de suivre constamment la même route.

Fig. 67.

L'angle ACH formé par la route CH qui suit le Vaisseau, & par sa quille, est nommée par les Marins *angle de la dérive*, lequel est plus ou moins grand, selon que la voile DE étant située plus ou moins obliquement par rapport à la quille, pousse le Navire plus ou moins de côté. Cet angle de déviation ou de *dérive* nuit extrêmement aux avantages de la navigation dans les routes obliques, mais il n'est pas possible de le détruire. Il ne se réduit à rien, ou ce qui revient au même, le Navire ne singe exactement selon sa longueur, que lorsque la voile fait un angle droit avec la quille; parce que ce n'est qu'alors que le Vaisseau n'est pas poussé de côté, ou qu'il ne l'est que dans le sens direct, quel que soit la direction du vent. Mais pour peu que la voile soit située obliquement, ou qu'on lui donne une disposition aprochante de celle que représente la Figure, le Navire en passant successivement d'une route à l'autre, n'en embrasse constamment une, que lors que la direction du choc de l'eau sur la proue, se trouve exactement contraire à la direction CF de l'effort de la voile. Il ne doit pas suivre la direction même CF de l'effort du vent; car on le repete, les fluides ne poussent pas les surfaces selon leur propre direction, & si le Navire suivoit FC, le choc de l'eau s'exerceroit selon quelque autre ligne, & ne se trouvant pas exactement opposé à l'effort de la voile, ces deux forces ne pourroient pas se détruire mutuellement. C'est sur cette opposition & sur l'égalité parfaite, qui doivent subsister entre les impulsions de l'eau & du vent, qu'est fondée toute la Théorie de la Manœuvre des Vaisseaux. Ce principe général & fécond paroît maintenant de la dernière évidence: les écrits s'étoient néanmoins multipliés

Y y

354 T R A I T É D U N A V I R E ,
 inutilement; & c'est au célèbre M. Bernoulli à qui toutes
 les Mathématiques sont si redevables, que la science Nau-
 tique a encore cette obligation, d'avoir le premier décou-
 vert la vérité dans cette matiere *.

* Voyez
 l'Essai d'u-
 ne nouvel-
 le Théorie
 de la ma-
 nœuvre
 des Vaif-
 seaux, im-
 primé à
 Basle en
 1714.

C H A P I T R E II.

De la mesure des chocs absolus de l'Eau & du Vent.

I.

Fig. 70.

LORSQUE l'eau, ou tout autre fluide, vient rencon-
 trer un plan, il est évident que chacune de ses molé-
 cules doit faire plus ou moins d'impression, selon qu'elle
 frappe plus ou moins perpendiculairement. L'effort particu-
 lier doit être exprimé par le sinus de l'angle d'incidence,
 ou le sinus de l'angle que fait la direction du fluide avec la
 surface; puisque ce sinus représente la quantité de l'accès
 de la molécule vers le plan. Ceci se raporte à ce que nous
 avons dit d'une pierre qui rencontre obliquement un mur,
 & qui au lieu d'agir par son mouvement absolu, n'agit que
 par la partie qui s'exerce dans le sens perpendiculaire. Mais
 en même tems que chaque particule du fluide fait plus ou
 moins d'impression, le nombre de ces mêmes particules
 qui contribuent au choc, est encore plus ou moins grand,
 selon que la surface se présente plus ou moins directement;
 & ce nombre de particules est encore exprimé par le sinus
 de l'angle d'incidence. Ainsi le sinus de cet angle contri-
 bue doublement au choc: & l'impulsion doit être propor-
 tionnelle à son quarré. Dans la Figure 70, l'angle LBA re-
 présente l'angle d'incidence que fait la direction LB du
 fluide avec la surface AB, & l'impulsion, selon ce que
 nous venons de voir, sera proportionnelle au quarré du si-
 nus de cet angle. Quoique la molécule L du fluide par-
 coure tout l'espace LB, elle n'avance vers la surface que
 de la quantité LM qui résulte de la décomposition du mou-

vement absolu BL, en mouvement perpendiculaire LM à la surface, lequel est exprimé par le sinus d'incidence, & en mouvement parallèle LN, qui ne produit ici aucun effet. Mais en même tems que l'effort relatif de chaque molécule suit le rapport du sinus de l'angle d'incidence LBA, la multitude des mêmes molécules suit le même rapport : car la surface AB n'est frappée que par le seul fluide contenu entre A & O, ou qui passe entre ces points ; & cette largeur AO est encore proportionnelle au sinus de l'angle d'incidence. Lorsque cet angle sera droit, l'impulsion sera la plus grande de toutes : au lieu que si l'angle LBA n'est que de 30 degrés, chaque molécule fera la moitié moins d'impression, parce qu'elle n'en fera que par sa vitesse d'accès qui ne sera que la moitié de sa vitesse absolue ; & il y aura aussi la moitié moins de molécules qui contribueront au choc, parce que la surface présentera une moindre largeur au cours du fluide. De cette sorte l'effort total sera quatre fois moindre.

Mais ce n'est pas seulement par le plus ou le moins d'obliquité avec laquelle le fluide fait son choc, que son impulsion est différente ; c'est encore par le plus ou le moins de vitesse absolue qu'il a indépendamment de son obliquité. Aussi-tôt que le fluide se meut plus vite, il fait une impression plus grande, & elle est proportionnelle au carré de sa vitesse ; parce que le fluide se mouvant plus vite, chaque de ses molécules frappe avec plus de force, & qu'il y a outre cela un plus grand nombre de molécules qui surviennent dans le même tems & qui contribuent à l'impulsion. Si l'eau, par exemple, qui rencontre une surface, acquerre trois fois plus de vitesse, chaque de ses parties, prises séparément, fera une impression trois fois plus grande ; mais comme il y aura encore, puisque la vitesse sera trois fois plus grande, trois fois plus de parties dont l'action s'achèvera dans le même tems, l'impulsion totale sera neuf fois plus forte. C'est ce qui est commun à tous les fluides, & c'est par cette raison qu'ils deviennent quelquefois capables d'efforts prodigieux. L'eau marine, par exem-

ple , ne fait que très-peu d'effet lorsqu'elle ne parcourt qu'un pied dans une seconde ; mais qu'elle se meuve dix fois plus vite , aussi-tôt son impulsion augmentera cent fois : capable alors de renverser les digues les plus épaisses , elle jettera souvent sur ses bords les plus grands poids, qui étoient plongés à une très-grande profondeur.

Il suit de ce que nous venons de dire , que lorsque le même fluide frappe la même surface avec différentes vitesses, & avec différentes obliquités, les impulsions sont comme les produits des quarrés des vitesses par les quarrés des sinus des angles d'incidence , puisqu'elles dépendent également de chacun de ces quarrés. Il est vrai que dans tout ceci nous n'avons pas égard à quelques irrégularités Physiques qui peuvent altérer un peu l'une & l'autre proportion. Après que les parties les plus avancées du fluide ont fait leur effet , il faudroit qu'en se retirant , elles laissassent agir librement les autres : au lieu qu'en se réfléchissant après le choc , elles heurtent celles qui les suivent , & mettent obstacle à l'action que ces dernières doivent produire à leur tour. L'expérience apprend néanmoins que ces irrégularités , qui sont à peu près semblables , ou proportionnelles dans tous les cas , ne tirent pas à conséquence. Dailleurs on peut dans de pareilles matieres , négliger une précision trop rigoureuse , lorsqu'il est question de ne pas rendre les règles trop compliquées.

Si la vitesse du fluide est non-seulement différente , de même que le sinus de l'angle d'incidence ; mais que la surface soit aussi plus ou moins grande , l'impulsion changera encore selon l'étendue de cette surface. Ainsi les impulsions du même fluide sont sensiblement comme les produits du quarré de sa vitesse & du quarré du sinus de l'angle d'incidence , multipliés par l'étendue du plan qui reçoit le choc. Je dis que les impulsions du même fluide suivent sensiblement ce raport : car outre les irrégularités dont je viens de faire mention , il se peut faire encore que des plans de diverses étendues ne souffrent pas des impulsions proportionnelles à la grandeur de leur surface. Peut-être que le

plan deux fois plus grand , par exemple , ne reçoit pas un choc précisément double , & cela à cause du plus ou du moins de facilité que trouvent les parties du fluide à se retirer après avoir accompli leur choc , selon que la surface est plus ou moins grande. Il n'est pas permis à tout le monde de faire des expériences sur ces matieres ; parce qu'il faudroit leur donner beaucoup d'étendue ; les faire en grand , & examiner principalement les cas extrêmes.

Il arrive peut être aussi des variétés que nous ne connoissons nullement , au choc que souffrent les surfaces qui se meuvent , par exemple , dans l'eau & qui sont plongées à une grande profondeur ; & toutes ces particularités veulent être étudiées , non pas par de simples méditations , mais par des épreuves faites avec beaucoup d'adresse. Je soupçonne que c'est en partie à la difficulté qu'a l'eau de se retirer & de passer sous la carène , qu'il faut attribuer la propriété qu'ont les Navires qui sont plus profonds , d'être toujours sujets à moins de dérive dans les routes obliques. Les Navires qui ont plus de *creux* glissent de côté sur les eaux avec de facilité ; parce que les molécules d'eau qui sont frappées , ont plus de vitesse à prendre ou plus de chemin à faire pour s'échaper ; ce qui fait qu'elles résistent davantage au mouvement latéral du Vaisseau. Quoi qu'il en soit , si on admet les règles précédentes , il suffira de faire quelques essais sur le choc d'un fluide , pour se mettre en état de juger de la force de son impulsion dans tous les autres cas. On peut prendre , par exemple , pour principe d'expérience , que l'eau marine en choquant perpendiculairement une surface d'un pied quarré avec une vitesse à parcourir un pied par seconde , fait une impression égale à très-peu près à une livre sept onces. Si la vitesse est plus grande , l'impulsion augmentera en raison doublée ; si la surface est plus étendue , l'impulsion croîtra dans le même rapport que la surface ; & enfin si le choc se fait avec obliquité , l'impulsion changera comme le quarré du sinus de l'angle d'incidence.

II.

Les impulsions du vent sont foibles en comparaison de celles de l'eau ; parce que l'air a peu de densité, ou contient beaucoup moins de matiere sous le même volume. M. Mariote a trouvé que sa densité étoit 576 fois moindre que celle de l'eau ; & comme toutes les autres circonstances étant les mêmes, les impulsions des fluides doivent être proportionnelles à leur densité, puisqu'ils n'agissent que par leur masse ou par la quantité de matiere qu'ils contiennent, le vent avec la même vitesse que l'eau, doit faire une impulsion 576 fois moindre. Ainsi lorsqu'il parcourt un espace de 50 pieds dans une seconde, il fait, en rencontrant perpendiculairement une surface d'un pied quarré, un effort d'environ 6 livres. Mais nous avons tout lieu de croire que les expériences qui ont fourni cette détermination, ont été faite en hiver, lorsque l'air étoit extrêmement condensé : car il est certain que ce fluide qui reçoit le plus aisément de tous, les impressions de la chaleur, est beaucoup plus dilaté en Été. Les impulsions qu'il fait alors par son choc, sont donc plus foibles : & peut-être sont-elles plus de 1000 fois moins fortes que celles de l'eau. On remarque souvent qu'un simple rayon du Soleil qui passe entre des Nuages, suffit pour produire un changement considérable à l'état de l'air, de même que l'ombre d'un seul nuage détaché est capable de causer un changement tout contraire. L'air privé au-dessous de la chaleur immédiate du Soleil, se refroidit, & se condense tout-à-coup ; & le vent, quoiqu'avec la même vitesse, a réellement plus de force, parce qu'il agit avec plus de masse. Enfin son impulsion varie encore, selon qu'il est plus ou moins chargé de vapeurs : indépendamment des autres causes de différences, celle-ci produit des effets très-sensibles.

Il n'y a point de doute après tout cela, que si on peut toujours conclure assez exactement la force du choc de l'eau & de presque tous les autres fluides, aussi-tôt qu'on

connoît leur vitesse, ce n'est pas la même chose à l'égard du vent. Les densités de l'air sont trop variables, & ses variations ne sont presque jamais assez connues. Ainsi il vaut beaucoup mieux tâcher de déterminer immédiatement la force du vent, que de s'arrêter à la déduire de la mesure de sa vitesse. On a déjà imaginé pour cela plusieurs instrumens sous le nom d'anémomètres, entre lesquels on doit distinguer celui que nous a donné M. Wolff dans ses *Elements d'Aerométrie*, & un autre qui indique, non-seulement la force du vent, mais qui en tient pour ainsi dire Registre, que M. d'Ons-en-Bray a communiqué dans les *Mémoires de l'Académie*. M. le Marquis Poleni dans la *Dissertation* qui a remporté le prix de 1733, a aussi proposé un de ces instrumens, qui est fort ingénieux & qu'il est facile de rendre exact. C'est un plan suspendu par en haut, lequel étant exposé au choc du vent, doit s'éloigner plus ou moins de la situation verticale, selon que l'impulsion est plus ou moins grande. C'est par la quantité de l'inclinaison que M. Poleni prétend juger de la force de l'impulsion. On peut employer toutes ces machines avec succès; & à leur défaut on pourra se servir de celle que je vais proposer, qui est très-simple, & que j'ai trouvé commode dans l'usage que j'en ai fait.

*Description d'un Instrument pour mesurer la force
du Vent.*

Notre Anémomètre n'est autre chose qu'un morceau de carton très-leger appliqué à un espece de peson d'Allemagne. Le morceau de carton qui est un quarré dont chaque côté a 6 pouces, est représenté dans la Figure 68 par le quarré ABDE, & est soutenu par la verge CF, qui entre dans le canon ou tuyau FG, & s'appuye contre un ressort à boudin qui est dans le fond de ce canon. On expose le morceau de carton au choc du vent, & selon que l'impulsion est plus ou moins grande, la verge CF qui est soutenue en F à son entrée dans le tuyau par un petit rouleau

Fig. 68.

Fig. 68. mobile sur son axe, afin de diminuer le frottement, comprime plus ou moins le ressort à boudin ; & on a en F sur la surface de la verge, qui est divisée en parties, la quantité de l'impulsion marquée en livres & en onces, de la même manière qu'on a avec le peson d'Allemagne le poids des choses qu'on pèse. Il se trouve cette seule différence entre ces deux Instrumens ; que l'Anémometre est dans une agitation continuelle, à cause du peu d'égalité avec laquelle le vent souffle presque toujours. On observera ou la quantité moyenne de l'impulsion ou sa plus grande force, selon les diverses conséquences qu'on voudra tirer de cette connoissance. L'Anémometre dont je me suis servi étoit précisément tel que le représente la Figure ; mais on pourroit lui donner diverses autres formes. On pourroit, par exemple, le mettre sur une petite table ; le canon FG seroit porté par deux soutiens perpendiculaires, & la voile AD qui se reposeroit par sa partie inférieure AD sur la table, auroit deux petites roulettes en E & en D pour détruire le frottement.

Un des principaux avantages qu'a cet Instrument, c'est qu'il suffit de placer le morceau de carton parallèlement à la surface des voiles, pour trouver l'impulsion que fait le vent sur chaque pied de surface, sans être obligé de faire attention à l'obliquité du choc. Il sera de cette sorte très-facile de sçavoir l'impulsion totale qui fait singler le Navire, & pour y mieux réussir, on peut au lieu de la feuille de carton, mettre dans un châssis un morceau de la même toile dont les voiles sont faites : on apprendra de cette sorte quand il y aura à craindre pour la rupture de la mâture, ou qu'il y aura encore quelque accident plus grand à éviter. Je ne crois pas qu'on doive jamais se hasarder à soutenir un effort de 6 livres sur chaque pied carré. Pour que le vent fit une pareille impression, il faudroit, comme je l'ai déjà dit, qu'il eût en Hyver en France une vitesse à parcourir environ 50 pieds par seconde, & une d'environ 60 ou 63 pieds en Été, & il faudroit qu'il en eût encore une plus grande dans presque tous les endroits de la Zone-Torride.

Ce

Ce ne seroit cependant encore là que sa vitesse relative, ou celle qu'il auroit par rapport au Vaisseau & avec laquelle il l'atteindroit : au lieu que la vitesse absolue avec laquelle il choqueroit le Navire qui se mettroit en *pane* ou *côté à travers*, seroit beaucoup plus grande & le rendroit capable des plus grands efforts. A Terre les hommes auroient de la peine à se soutenir, les arbres seroient arrachés, quelques édifices seroient renversés, &c.

Fig. 68.

III.

La plus grande partie de notre Anémometre servira aussi, lorsqu'au lieu de mesurer l'effort du vent, on voudra mesurer l'effort de l'eau. Rien n'est plus facile dans un Port de Mer & dans un Atelier de construction, où on a toutes les choses sous la main, que de faire faire une petite proue en bois parfaitement semblable à celle d'un Navire. Or si après l'avoir suffisamment chargée, on l'expose à une eau courante, & qu'ayant ôté de l'Anémometre (Fig. 68.) la voile ou surface AD, on soutienne avec l'extrémité de la verge CF la petite proue, contre le choc auquel elle sera sujette, on apprendra la valeur de l'effort en livres ou en onces. On verra aussi selon quelle direction se fait l'impulsion, puisqu'elle sera indiquée par la situation qu'il faudra donner à la verge CF, pour que la petite proue se maintienne constamment dans le même état. Enfin si on réitere la même expérience, en exposant au choc de l'eau une surface plane égale à la base du petit conoïde qui représente la proue, on sçaura, avec d'autant plus de précision, combien la saillie ou convexité de l'avant du Navire fait diminuer de fois l'impulsion qu'il reçoit, que cette connoissance ne se ressentira pas des erreurs que nous sommes exposés à commettre dans les systêmes que nous formons sur l'action des fluides.

Il est vrai que s'il n'étoit question que de trouver ce dernier rapport, on le découvreroit plus exactement par la Machine très-simple, dont je vais donner la description, & qu'on peut nommer *balance nautique*, vû sa construction & ses usages. BADC (Fig. 69.) représente la petite proue

Fig. 69.

Z z

Fig. 69.

faite en bois & parfaitement semblable à celle dont on veut sçavoir les propriétés ; & FEG est une planche taillée exactement de la même grandeur que la base BCD du conoïde qui forme la petite prouë. On appliquera l'une & l'autre à une longue règle horifontale OP, qui pouvant tourner sur l'axe vertical KL, sert comme de fleau à la balance. L'axe KL sera une verge de fer, dont le mouvement de rotation sera facilité par la maniere dont elle se terminera en pivot vers ses deux extrémités, & les deux poupées M & N qui la soutiennent, pourront se placer en quel endroit on voudra du pieux vertical HI. Les deux poupées O & P qui soutiennent la petite prouë d'un côté & la petite surface plane de l'autre, pourront aussi glisser le long de la règle horifontale ; & on les arrêtera par des vis. La Machine étant construite de cette sorte, on la plongera dans une eau courante, en présentant la petite prouë directement au courant, & en l'enfonçant jusqu'à ce qu'elle soit entièrement submergée, de même que la surface EFG : & il n'y aura plus qu'à changer leur distance à l'axe KL, jusqu'à ce que les deux impulsions soient en équilibre ; pour sçavoir par la longueur des deux bras de levier auxquels elles seront appliquées, le rapport qu'il y a entre les deux forces. Je n'ai que faire d'avertir que les deux impulsions seront en raison inverse des longueurs des deux bras de levier. Le même Instrument servira aussi, si on le veut, à comparer deux prouës immédiatement l'une à l'autre ; en apliquant à la balance deux petites prouës qui leur soient semblables : & on pourra, si on le veut, pour plus de commodité, exposer la machine au vent, au lieu de l'exposer au choc de l'eau. Au reste, quoique ce moyen mécanique de juger de l'impulsion que souffrent les surfaces, puisse servir dans plusieurs rencontres, il est cependant à propos d'en avoir d'autres, qu'on puisse employer sans avoir recours à l'expérience. La méthode générale est de réduire les impulsions que souffrent les surfaces courbes, à celles que souffrent les surfaces planes : il faudra pour cela diviser les surfaces courbes en parties assez petites, pour faire disparaître leur courbure.

C H A P I T R E I I I.

De l'impulsion des Fluides sur différentes figures, & premièrement sur une Prouë formée de deux lignes droites.

I.

NOUS commençons ce nouvel examen par le cas le plus simple de tous : nous suposerons que la prouë BAD, (Fig. 70.) est formée de deux lignes droites AB, AD, que l'eau rencontre selon une infinité de paralleles à l'axe AC. L'angle d'incidence sera égal à l'angle BAC, ou à la moitié de l'angle BAD ; & si on multiplie chaque côté AB ou AD par le quarré du sinus de cet angle, qu'il est toujours aussi facile d'exprimer par lignes que par nombres, on aura l'impulsion absolüe totale : impulsion qui s'exerce selon la perpendiculaire EF à chaque côté. Je suppose que cette impulsion sur AB, est représentée par l'espace même EF ; & je forme le rectangle EGFH, dont les côtés EG & FH sont paralleles à l'axe AC, & les autres côtés perpendiculaires. Il est clair que EG ou HF représentera en même tems la partie de l'impulsion qui s'exerce dans le sens parallele à l'axe ; & il n'est pas moins évident que cette partie est plus petite que l'impulsion absolüe dans le même raport que BC est plus petite que AB ; puisqu'à cause des triangles semblables ABC & FEG, il y a même raport de BC à AB, que de EG à EF. Ainsi si au lieu de chercher les impulsions absolües sur les côtés AB & AD, lesquelles se détruisent en parties, parce qu'elles sont en parties contraires, on ne veut avoir que les impulsions relatives directes, qui s'exerçant dans le sens exactement parallele à l'axe, s'aident mutuellement, il ne faut pas multiplier le quarré du sinus d'incidence par la longueur de chaque côté AB ou AD ; car on auroit les im-

Z z ij

Fig. 70.

Fig. 70. pulsions absolues : mais il faut multiplier ce quarré seulement par CB ou par CD. On aura de cette sorte les deux impulsions relatives directes ; & il n'y a donc qu'à multiplier le quarré du sinus d'incidence par toute la base BD, pour avoir l'impulsion relative directe sur toute la prouë.

Si l'angle en A formé par les deux côtés de la prouë, est de 60 degrez , l'angle d'incidence sera de 30 , & son sinus étant la moitié du sinus total, le quarré de ce sinus sera quatre fois plus petit ; d'où il suit que l'impulsion directe que recevra la prouë, sera alors le quart de celle que recevrait la base BD, si elle étoit choquée par le fluide ; car cette dernière impulsion seroit exprimée par le quarré même du sinus total, multiplié par BD. On voit de la même maniere que lorsque l'angle en A est droit, l'impulsion directe est la moitié de ce qu'elle seroit, si le fluide pouvoit fraper la base BD ; puisque l'angle d'incidence est de 45 degrez , & que le quarré de son sinus est la moitié du quarré du sinus total.

I.

De l'impulsion de l'eau sur une prouë formée par un demi-cercle.

Fig. 71. Prenons pour second exemple un demi-cercle BAD, (Fig. 71.) choqué par un fluide qui vient rencontrer sa convexité, selon des directions perpendiculaires au diametre BD, ou paralleles au rayon AC. Si on conçoit la circonference de ce cercle partagée en une infinité de parties infiniment petites Ee , & qu'on abaisse des points E & e des perpendiculaires EG & eg sur le diametre BD, ces perpendiculaires seront paralleles à la direction du fluide, & on pourra les prendre pour les sinus des angles d'incidence, puisque ces lignes seront les sinus des angles BCE, qui sont égaux à ceux EeF que fait la direction du fluide avec les petites parties Ee de la circonference actuellement choquée. Ainsi pour avoir, conformément aux principes établis ci-devant, l'impulsion sur la petite partie Ee , il n'y a qu'à multiplier cette petite partie par le quarré de EG.

Il est vrai qu'on aura de cette sorte l'impulsion absolue; c'est-à-dire celle qui agit selon le rayon EC , ou selon la perpendiculaire à la partie même, au lieu que nous voulons avoir la seule impulsion relative selon EG ou selon la détermination de l'axe, laquelle doit être plus petite que l'absolue, dans le même rapport que EG , est plus petite que EC , ou que EF est plus petite que Ee . Ainsi au lieu de multiplier le carré du sinus EG d'incidence par Ee , nous n'avons qu'à le multiplier par EF , ou par Gg . Or c'est la même chose de toutes les autres parties de la circonférence; & pour avoir par conséquent l'impulsion directe que souffre la demi-circonférence entière, il suffit de chercher la somme de tous les produits des carrés des sinus EG par les parties correspondantes Gg .

Fig. 71.
& 72.

La Géométrie fournit divers moyens pour trouver la somme de ces produits; mais il me semble que voici le plus simple. On formera une pyramide triangulaire $HBDI$, (Fig. 72.) dont la hauteur BI sera égale au diamètre BD du demi-cercle qui est sujet à l'impulsion, & dont la base sera un triangle BDH , qui a un angle droit formé des deux côtés BD & DH qui seront égaux au même diamètre. On fera les parties BG & Bg égales à BG & à Bg de la figure 71, & on imaginera des plans $NOPG$, *nopg* perpendiculaires à la base & parallèles à DH , qui partageront la pyramide en une infinité de tranches infiniment peu épaisses. Il est évident que chaque de ces tranches exprimera l'impulsion relative directe que souffrira chaque partie Ee de la demi-circonférence. Car GP étant égale à BG , de même que GN est égale à GD , le rectangle $NGPO$ sera égal au rectangle de BG par GD qui est égal, par la propriété du cercle, au carré de GE ; & il suit de là que la tranche infiniment peu épaisse $NGPOongp$, est égale au produit du carré de GE par Gg , & exprime par conséquent l'impulsion relative directe sur Ee . Mais puisque c'est la même chose de toutes les autres tranches; qu'elles sont continuellement proportionnelles aux petites impulsions directes; il suffit de chercher la solidi-

Fig. 72. té entière de la pyramide, qui a pour élemens toutes les tranches, ou de chercher la solidité de ses parties sensibles BGOI ou NGCMO, (ce qui sera toujours facile) pour avoir l'impulsion relative directe, ou sur toute la demi-circonference BAD, ou sur quelqu'une de ses parties BE ou EA.

La solidité de la pyramide entière est égale aux $\frac{4}{3}$ du cube du sinus total ou du rayon CB. Car la base BDH est double du quarré du sinus total, ou égale à $2 \times \overline{BC}^2$; & il faut multiplier cette base par le tiers de BI ou par les deux tiers BC; ce qui donne pour la pyramide entière $\frac{4}{3} \times \overline{BC}^3$. Cette solidité exprime l'impulsion que souffre toute la demi-circonference selon le sens direct: Mais si le fluide agissoit sur le diametre même BD & perpendiculairement, l'impulsion seroit égale au quarré \overline{BC}^2 du sinus total, multiplié par le diametre même, ou par le double de BC; de sorte qu'elle seroit exprimée par le double du cube du sinus total, ou par $\frac{6}{3} \times \overline{BC}^3$. Ainsi il est sensible que l'impulsion que reçoit la demi-circonference BAD, est à celle que recevroit le diametre BD, s'il étoit choqué perpendiculairement par le fluide, comme 4 est à 6, ou que l'une est les deux tiers de l'autre: ce qui nous apprend que la courbure ou la saillie du demi-cercle qui est cause que chaque partie est frappée avec moins de force, fait diminuer l'impulsion précisément d'un tiers.

Nous avons vû que lorsque la prouë est formée de deux lignes droites qui font en A un triangle droit, l'impulsion directe est diminuée de moitié. Cette prouë rectiligne éprouve donc moins de résistance de la part de l'eau que la prouë formée d'un demi-cercle: Les deux résistances sont dans le raport de 3 à 4; la premiere est d'un quart plus petite que l'autre. Mais nous démontrerons aussi que de toutes les prouës terminées par un simple trait, c'est la prouë rectiligne, qui ayant la même largeur BD, & la même saillie CA, est exposée à la moindre résistance

possible de la part du milieu dans lequel elle se meut. Si on cherche de la même manière l'impulsion dans le sens relatif direct que reçoit un arc de cercle BE de 60 degrés, on trouvera qu'elle est les $\frac{2}{13}$ de celle que recevrait dans le même sens la base BG, si elle étoit exposée au choc: Au lieu que l'impulsion que recevrait la corde de l'arc seroit seulement le quart ou les $\frac{1}{4}$ de celle que recevrait la base BG, & seroit donc les $\frac{1}{7}$ de celle que souffre l'arc.

III.

De l'impulsion que reçoit une parabole.

Supposons maintenant que la prouë, au lieu d'être terminée par un arc de cercle, le soit par une parabole BAD, (Fig. 73.) dont AE est l'axe, & que le fluide, selon une infinité de lignes GB, gb, vienne la rencontrer parallèlement à cet axe. L'angle d'incidence GBb sur une partie infiniment petite Bb, sera égal à l'angle FBE formé par l'ordonnée BE, & par la perpendiculaire BF à la courbe. Comme la sousperpendiculaire EF est constante à cause de la propriété de la parabole, qu'elle est égale à la moitié du paramètre, nous la destinons à servir de sinus total; & c'est donc par rapport à cette ligne que nous travaillerons à exprimer le sinus d'incidence & son carré. Je transporte pour cela FE en AC; je trace du point C comme centre, l'arc de cercle AMO, & tirant du même point les lignes CG & Cg jusqu'aux points G & g, où les parallèles BG & bg à l'axe rencontrent la tangente AG tirée au sommet de la parabole, nous aurons le triangle CAG égal au triangle FEB; & par conséquent l'angle CGA sera égal à l'angle d'incidence du fluide sur la petite partie Bb de la parabole. Du point A j'abaisse ensuite la perpendiculaire AH sur CG; & l'angle CAH étant encore égal à l'angle d'incidence, nous aurons CH pour son sinus, pendant que AC qui est égale au demi-paramètre, représentera le sinus total. Cela supposé, nous n'avons plus qu'à abaisser du point

Fig. 73

Fig. 73. H la perpendiculaire HI sur AC, & la partie interceptée CI représentera le quarré du sinus d'incidence. Car on aura la proportion continuë $|| AC | HC | CI$, qui nous apprend que CI est égale au quarré de HC divisé par AC; & puisque AC est constante, le segment CI sera continuellement proportionnel au quarré de HC, ou au quarré du sinus de l'angle d'incidence.

Il nous faudroit maintenant multiplier CI par la petite partie Bb de la parabole, si nous voulions obtenir l'impulsion absolue qu'elle reçoit, & qui s'exerce selon la perpendiculaire BF; mais voulant avoir la seule partie de l'impulsion qui agit dans le sens parallèle à l'axe, il nous faut simplement multiplier CI par BI, ou par son égal Gg. Je prend pour l'unité la constante CA, qui nous a déjà servi de sinus total, & considérant que $CA | Gg || CI | KH$, je reconnois que KH peut représenter le petit produit que nous cherchons, & qui exprime la petite impulsion relative directe sur Bb. Car KH est égale à $\frac{CI \times Gg}{CA}$, & est donc toujours proportionnelle à $CI \times Gg$. Enfin le petit triangle HLK étant semblable au grand CHA, il ne reste plus qu'à remarquer que KH est plus grande que HL dans le même rapport que CA est plus grande que CH; mais que le petit arc Mm du cercle AM, intercepté entre les lignes CG & Cg, est aussi plus grand que HL précisément dans le même rapport; puisque l'un est à l'autre comme AC ou MC, est à HC: ainsi le petit arc Mm est égal à HK, & exprime donc aussi l'impulsion directe du fluide sur la petite partie Bb de la parabole. Or comme le même raisonnement peut s'appliquer à toutes les autres petites parties, il s'ensuit que l'impulsion relative dans le sens de l'axe, sur tout l'arc de parabole AB, est exprimée par la longueur entière de l'arc de cercle AM.

Cette expression est générale & peut s'appliquer à tous les arcs de parabole. Si cette ligne courbe ne faisant que naître, nous considérons le petit arc qui part du sommet & qui ne diffère pas de son ordonnée, nous aurons pour l'expression

pression de l'impulsion qu'il reçoit, le petit arc de cercle qui partant aussi du point A, ne diffère pas de sa tangente & qui est de même longueur que le petit arc de parabole ou que son ordonnée. C'est-à-dire, que l'impulsion que souffrent les petites parties qui sont exposées perpendiculairement au choc, est représentée par leur longueur: & de là il suit que pendant que les arcs de cercle, comme AM, expriment les impulsions que reçoivent les arcs entiers AB de parabole, les impulsions que souffriroient les ordonnées EB, si le fluide pouvoit parvenir jusqu'à les fraper, seroient exprimées par la propre longueur de ces ordonnées ou par les tangentes AG qui leur sont égales. Ces dernières impulsions augmenteroient à l'infini à mesure qu'on prolongeroit la parabole; au lieu que la ligne courbe a cette propriété singulière, que l'impulsion qu'elle reçoit a un terme auquel elle ne parvient jamais: il faudroit étendre à l'infini chaque de ses branches, pour que l'impulsion sur chaque côté fût exprimée par l'arc AO qui est le quart du cercle. Si on fait passer par le foyer une ordonnée BD, la partie de la parabole retranchée vers le sommet recevra seule autant d'impulsion que tout le reste. En effet, l'impulsion pour chaque moitié sera représentée par l'arc AM qui est de 45 degrés; l'ordonnée BE étant dans ce cas égale à la moitié du parametre, & le triangle CAG étant isocèle.

CHAPITRE IV.

Méthode générale de trouver les impulsions des fluides sur les lignes courbes, avec quelques remarques sur ces impulsions.

ON peut découvrir avec le même succès, en employant la seule Analyse des Géomètres, l'impulsion des fluides sur plusieurs autres lignes courbes: mais il n'est que trop

370 T R A I T É D U N A V I R E ,
 souvent nécessaire pour réussir dans ces sortes de recherches,
 d'avoir recours au calcul algébrique. C'est aussi par ce seul
 moyen qu'on peut parvenir à des vûes plus étendues ou plus
 universelles. Nous croyons donc qu'au lieu de continuer
 plus long-tems un examen qui ne seroit toujours que par-
 ticulier, il vaut mieux nous hâter de nous élever à la con-
 sideration générale de toutes les lignes courbes frappées par
 les fluides.

I.

De l'impulsion dans le sens de l'axe.

Fig. 74. Soit BAD (Fig. 74.) une ligne courbe dont AC est l'axe
 & dont les deux branches AB & AD sont parfaitement éga-
 les. Je nomme x les parties variables AC ou AH de l'axe
 & y les ordonnées correspondantes BC ou EH ; pendant
 que dx exprimera les parties infiniment petites Hh de l'axe
 & dy les différentielles EF des ordonnées. Je suppose de
 plus, pour n'être pas obligé d'y revenir une seconde fois,
 que le fluide se meut selon des lignes obliques LeI , LeI
 qui sont avec l'axe de la courbe ou avec les paralleles eF
 à l'axe des angles FeI , dont m est la tangente & $\sqrt{n^2 + m^2}$
 la sécante, pendant que n désigne le sinus total. Ces angles
 FeI représente l'obliquité de la route ou la quantité de la
 dérive, supposé que la courbe BAD soit la prouë d'un Na-
 vire projeté sur un plan horizontal & que A soit son extré-
 mité. L'angle d'incidence est ici EeI , lequel est plus grand
 d'un côté & plus petit de l'autre ; plus grand sur la moitié
 de la courbe que le fluide frappe plus directement. Du point
 I j'abaisse la perpendiculaire IK sur la partie Ee ; & cette
 perpendiculaire représentera le sinus de l'angle d'incidence,
 comparée à eI prise pour sinus total. Il est très-facile de
 trouver l'expression de cette ligne IK : je cherche pour
 cela FI par cette analogie ; le sinus total n est à la tangen-
 te m de l'angle FeI , comme $eF = dx$ est à $FI = \frac{mdx}{n}$ que
 j'ajoute à $EF = dy$, ou que j'ôte de cette petite ligne,

pour avoir $dy \pm \frac{m dx}{n}$ pour la valeur de EI. Je cherche eI Fig. 74.

par cette analogie ; le sinus total n est à la sécante $\sqrt{n^2 + m^2}$ de l'angle FeI, comme $eF = dx$ est à $eI = \frac{dx \sqrt{n^2 + m^2}}{n}$. Considérant ensuite que les petits triangles EKI & EFe sont semblables, je fais cette autre proportion, $Ee = \sqrt{dx^2 + dy^2}$

| $Fe = dx$ || $EI = dy \pm \frac{m}{n} dx$ | $KI = \frac{dx dy \pm \frac{m}{n} dx^2}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$. Enfin, nous n'avons qu'à faire cette dernière analogie que nous fournit le triangle eIK, l'hypoténuse $eI = \frac{dx \sqrt{n^2 + m^2}}{n}$

est au sinus total n , comme $IK = \frac{dx dy \pm \frac{m}{n} dx^2}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$ est à

$\frac{n^2 dy \pm n m dx}{\sqrt{n^2 + m^2} \sqrt{dx^2 + dy^2}}$, & nous aurons l'expression du sinus de l'angle d'incidence IeK. Cette expression en contient réellement deux ; la première $\frac{n^2 dy + n m dx}{\sqrt{n^2 + m^2} \sqrt{dx^2 + dy^2}}$ convient à la moitié AB de la courbe, & la seconde $\frac{n^2 dy - n m dx}{\sqrt{n^2 + m^2} \sqrt{dx^2 + dy^2}}$ à l'autre moitié.

Si on vouloit avoir l'impulsion absolue sur la petite partie Ee, il n'y auroit qu'à multiplier le carré

$\frac{n^4 dy^2 \pm 2 n^3 m dx dy + n^2 m^2 dx^2}{n^2 + m^2 \times dx^2 + dy^2}$ de ce sinus par la partie même

$Ee = \sqrt{dx^2 + dy^2}$. Mais comme toutes ces impulsions absolues auroient des directions obliques les unes par rapport aux autres, on ne pourroit pas sçavoir ensuite leur effet total ou commun par une simple addition ; au lieu que ce ne sera pas la même chose, si décomposant chaque impulsion absolue, on cherche l'impulsion relative dans le sens précisément parallèle à l'axe AC. Il est d'ailleurs toujours permis de considérer la petite partie Ee de la courbe, comme si elle étoit une petite portion des côtés rectilignes AB ou AD de la proue BAD de la figure 70 ; ainsi on peut exécuter ici ce qu'on a déjà exécuté

A a a ij

Fig. 74. dans le Chapitre précédent. Le carré du sinus de l'angle d'incidence , multiplié par Ee , nous donneroit la petite impulsion absolue , & ce même carré multiplié par EF nous donnera l'impulsion relative dans la détermination de l'axe ; parce que cette dernière impulsion est plus petite que l'autre, dans le même rapport que EF est moindre que Ee . La règle est générale : si on vouloit avoir l'impulsion relative que souffre Ee dans le sens latéral perpendiculaire à l'axe AC , il faudroit multiplier le carré du sinus d'incidence par eF qui est la partie Ee projetée sur un plan ou sur une ligne perpendiculaire à la direction , selon laquelle on veut avoir l'impulsion relative. Enfin si nous multiplions

$\frac{n^4 dy^2 \pm 2n^3 m dx dy + m^2 n^2 dx^2}{n^2 + m^2 \times dx^2 + dy^2}$ par $EF = dy$, nous au-

rons $\frac{n^4 dy^3 \pm 2n^3 m dx dy^2 + m^2 n^2 dx^2 dy}{n^2 + m^2 \times dx^2 + dy^2}$, pour l'impulsion rela-

requise dans la détermination de l'axe ; & puisque l'impulsion relative directe sur toute la courbe est formée de toutes ces petites impulsions , nous n'avons qu'à en prendre la somme infinie ou l'intégrale

$\int \frac{n^4 dy^3 \pm 2n^3 m dx dy^2 + n^2 m^2 dx^2 dy}{n^2 + m^2 \times dx^2 + dy^2}$, & nous aurons l'impul-

sion relative directe sur chaque moitié de la courbe ; sur la moitié AB , lorsque nous employerons le signe $+$ qui est au second terme , & sur l'autre moitié, lorsque nous nous servirons du signe $-$.

Au lieu de chercher l'impulsion sur chaque moitié de la courbe séparément, on peut la chercher aussi sur la courbe entière , en ajoutant ensemble les deux impulsions particulières

$\int \frac{n^4 dy^3 + 2n^3 m dx dy^2 + n^2 m^2 dx^2 dy}{n^2 + m^2 \times dx^2 + dy^2}$ & . . .

$\int \frac{n^4 dy^3 - 2n^3 m dx dy^2 + n^2 m^2 dx^2 dy}{n^2 + m^2 \times dx^2 + dy^2}$: il viendra . . .

$\int \frac{2n^4 dy^3 + 2n^2 m^2 dx^2 dy}{n^2 + m^2 \times dx^2 + dy^2}$ qui exprime donc l'impulsion relative directe totale.

Cette dernière formule se réduit à $\int \frac{2n^2 dy^3}{dx^2 + dy^2}$, lors que le fluide se meut parallèlement à l'axe, ou que l'obliquité de la route est nulle; parce qu'alors la tangente devenue égale à zéro, fait disparaître les termes qu'elle multiplie. Il semble d'abord que l'entière solution du Problème est plus difficile dans les autres cas; mais elle ne l'est pas réellement: car toutes les fois qu'on peut avoir l'intégrale exacte de $\int \frac{dy^3}{dx^2 + dy^2}$, on peut l'obtenir également de $\int \frac{2n^4 dy^3 + 2n^2 m^2 dx^2 dy}{n^2 + m^2 \times dx^2 + dy^2}$. Cela vient de ce qu'on peut trouver une certaine grandeur, qui ajoutée au premier terme de la quantité $\int \frac{2n^4 dy^3 + 2n^2 m^2 dx^2 dy}{n^2 + m^2 \times dx^2 + dy^2}$ ne le rend pas plus difficile à intégrer, & qui soustraite en même tems du second terme, afin de conserver à la quantité totale la même valeur, rend toujours infailliblement ce second terme intégrable. Cette grandeur qu'on doit ajouter à un terme & soustraire de l'autre, est $\frac{2n^2 m^2 dy^3}{n^2 + m^2 \times dx^2 + dy^2}$ de sorte que nous aurons pour la quantité élémentaire totale . . .

$$\frac{2n^4 dy^3 - 2n^2 m^2 dy^3 + 2n^2 m^2 dx^2 dy + 2n^2 m^2 dy^3}{n^2 + m^2 \times dx^2 + dy^2} \text{ ou } \frac{2n^4 - 2n^2 m^2}{n^2 + m^2} \times \frac{dy^3}{dx^2 + dy^2} + \frac{2n^2 m^2}{n^2 + m^2} \times \frac{dx^2 dy + dy^3}{dx^2 + dy^2} \text{ qui se réduit à } \dots$$

$$\frac{2n^4 - 2m^2 n^2}{n^2 + m^2} \times \frac{dy^3}{dx^2 + dy^2} + \frac{2n^2 m^2}{n^2 + m^2} dy, \text{ dont l'intégrale est}$$

$$\text{effectivement } \frac{2n^4 - 2n^2 m^2}{n^2 + m^2} \int \frac{dy^3}{dx^2 + dy^2} + \frac{2n^2 m^2}{n^2 + m^2} y.$$

Ainsi que le fluide se meuve parallèlement à l'axe de la courbe, ou qu'il suive quelqu'autre direction, il n'y a pas sensiblement plus de difficulté à trouver l'impulsion relative directe dans un cas que dans l'autre: il n'y a toujours que la seule quantité $\frac{dy^3}{dx^2 + dy^2}$ à intégrer. Si cette intégration étant achevée, nous désignons par A, la quantité

Fig. 74. $2n^2 \int \frac{dy^3}{dx^2 + dy^2}$, ou l'impulsion que souffre la courbe entière lorsque le fluide la choque parallèlement à son axe, nous aurons aussi-tôt en termes parfaitement connus, l'impulsion $\frac{n^2 - m^2}{n^2 + m^2} A + \frac{2n^2 m^2}{n^2 + m^2} y$ que souffre la même courbe, lorsque le fluide se meut selon toute autre direction.

Mais notre formule $\frac{n^2 - m^2}{n^2 + m^2} A + \frac{2n^2 m^2}{n^2 + m^2} y$, ou son équivalente $\int \frac{2n^2 dy^3 + 2n^2 m^2 dx^2 dy}{n^2 + m^2 \times dx^2 + dy^2}$ devient encore beaucoup plus simple & acquerra même une simplicité capable de causer quelque sorte de surprise, lorsque l'obliquité de la route est exactement de 45 degrés, ou lorsque la direction du fluide fait précisément un angle demi-droit avec l'axe de la courbe. La tangente m se trouve égale au sinus total n , & la formule $\frac{n^2 - m^2}{n^2 + m^2} A + \frac{2n^2 m^2}{n^2 + m^2} y$ se réduit à $n^2 y$, pendant que l'autre formule $\int \frac{2n^4 dy^3 + 2n^2 m^2 dx^2 dy}{n^2 + m^2 \times dx^2 + dy^2}$ qui se change en $\int \frac{2n^4 dy^3 + 2n^4 dx^2 dy}{2n^2 \times dx^2 + dy^2}$ & en $\int n^2 dy$, se réduit à la même quantité.

On voit donc dans cette circonstance particulière, que l'impulsion relative directe ne dépend ni de la nature de la courbe qui la reçoit, ni de sa saillie ou de la longueur de son axe AC, mais seulement de sa largeur BD ou de sa plus grande ordonnée. Que la courbe BAD soit un arc de cercle ou une parabole ou une hyperbole, qu'elle soit géométrique ou mécanique, &c. que son axe soit plus ou moins long; aussi-tôt qu'elle n'a que la même largeur BD, l'impulsion qu'elle reçoit dans le sens de son axe par un fluide qui vient la rencontrer avec une obliquité de 45 degrés, est toujours exactement la même, & est égale à la moitié du quarré du sinus total, multipliée par la largeur BD; c'est-à-dire, qu'elle est réduite à la moitié de celle que recevrait la largeur BD frappée perpendiculairement,

Cette impulsion est aussi la même que celle que recevrait la ligne droite BD frappée avec une obliquité de 45 degrés, puisque cette droite peut être considérée comme une courbe BAD dont l'axe AC est infiniment petit. J'avois déjà indiqué * cette propriété singulière de toutes les courbes dont les deux moitiés sont parfaitement égales de part & d'autre de leur axe ; mais je ne l'avois pas démontrée. Je m'étois contenté de faire voir une propriété correspondante dans les conoïdes, & de dire qu'il y avoit quelque chose de semblable dans toutes les autres figures.

Fig. 74.
 * Traité
 de la Mâture
 des Vaisseaux page
 157.

Au reste, ce que l'Algèbre vient de nous indiquer, & ce qu'on ne se seroit peut-être pas avisé de chercher, si le calcul Analytique ne l'avoit fourni, se peut voir maintenant, avec la dernière évidence, par les seules lumières de la Géométrie la plus commune. Lorsque le fluide suit une direction qui fait un angle demi-droit avec l'axe AC, il fait beaucoup plus d'impression sur un côté de la courbe que sur l'autre : mais si on examine l'impulsion que reçoivent deux petites parties correspondantes ou également situées de part & d'autre de l'axe, on verra qu'il se fait une espèce de compensation, & qu'autant que le carré d'un des sinus d'incidence est plus grand que la moitié du carré du sinus total, le carré de l'autre sinus d'incidence est plus petit. C'est donc précisément la même chose que si ces deux petites parties étoient frappées avec une incidence dont le carré fût égal à la moitié du carré du sinus total : & cela est vrai quelque soit la situation des deux petites parties ; pourvu qu'elles soient également situées par rapport à l'axe d'un côté que de l'autre. Tel est le dénouement du paradoxe que nous ne croyons pas devoir expliquer plus au long. Il ne nous reste plus qu'à dire un mot de l'impulsion relative latérale.

II.

De l'impulsion dans le sens latéral, ou dans le sens perpendiculaire à l'axe.

Il faut, conformément à ce que nous avons vu ci-devant, multiplier le carré $\frac{n^4 dy^2 \pm 2n^3 m dx dy + n^2 m^2 dx^2}{n^2 + m^2 \times dx^2 + dy^2}$ du sinus de l'angle d'incidence EeI par $eF = dx$; & nous aurons $\frac{n^4 dy^2 dx \pm 2n^3 m dx^2 dy + n^2 m^2 dx^3}{n^2 + m^2 \times dx^2 + dy^2}$ pour l'impulsion relative latérale que reçoit chaque petite partie Ee . Si on prend ensuite l'intégrale $\int \frac{n^4 dy^2 dx \pm 2n^3 m dx^2 dy + n^2 m^2 dx^3}{n^2 + m^2 \times dx^2 + dy^2}$, on aura l'impulsion latérale sur chaque moitié entière de la courbe; sur la moitié AB , ou sur la moitié AD , selon qu'on emploiera le signe $+$ ou le signe $-$. Mais comme ces deux différentes impulsions latérales sont opposées, il ne faut pas les ajouter ensemble; il faut au contraire soustraire la plus foible de la plus forte, pour avoir l'impulsion latérale qui prévaut ou que reçoit la courbe entière. Il vient $\int \frac{4n^3 m dx^2 dy}{n^2 + m^2 \times dx^2 + dy^2}$ ou $\frac{4n^3 m}{n^2 + m^2} \int \frac{dx^2 dy}{dx^2 + dy^2}$, qui convient, de même que les formules précédentes, à toutes les courbes, dont les deux branches de part & d'autre de l'axe, sont parfaitement égales.

On peut remarquer que comme cette dernière formule a beaucoup de rapport au second terme de l'impulsion relative directe sur toute la courbe, on peut l'intégrer par le même moyen. On ne changera point la valeur de la quantité élémentaire, en lui ajoutant $\frac{4n^3 m}{n^2 + m^2} \times \frac{dy^3}{dx^2 + dy^2}$ aussitôt qu'on en soustraira cette même grandeur sur le champ. C'est-à-dire, qu'au lieu d'opérer sur $\frac{4n^3 m}{n^2 + m^2} \times \frac{dx^2 dy}{dx^2 + dy^2}$,
ou

on peut la faire également, sur $\frac{4n^3 m dx^2 dy + 4n^3 m dy^3}{n^2 + m^2 \times dx^2 + dy^2}$ — — Fig 74.

— $\frac{4n^3 m dy^3}{n^2 + m^2 \times dx^2 + dy^2}$. Or cette dernière expression se réduit à $\frac{4n^3 m dy}{n^2 + m^2} - \frac{4n^3 m dy^3}{n^2 + m^2 \times dx^2 + dy^2}$, & son intégrale est $\frac{4n^3 m}{n^2 + m^2} y - \frac{4n^3 m}{n^2 + m^2} \int \frac{dy^3}{dx^2 + dy^2}$ ou $\frac{4n^3 m}{n^2 + m^2} y - \frac{2nm}{n^2 + m^2} A$, si on met A, comme ci-devant, à la place de $2n^2 \int \frac{dy^3}{dx^2 + dy^2}$ qui indique l'impulsion relative directe, lorsque le mouvement se fait exactement selon l'axe.

III

Ainsi on voit encore une fois que toute la difficulté qu'il y a dans ces sortes de discussions, ne consiste qu'à trouver l'impulsion relative directe A, pour le seul cas où le fluide se meut selon l'axe de la courbe. Cette impulsion étant trouvée, il n'importe de quelle manière, on aura toujours $\frac{n^2 - m^2}{n^2 + m^2} A + \frac{2n^2 m^2}{n^2 + m^2} y$ pour les impulsions relatives directes pour tous les autres cas, & on aura en même tems $\frac{4n^3 m y - 2nmA}{n^2 + m^2}$ pour l'impulsion relative latérale; il suffit de se ressouvenir que y désigne la moitié de la plus grande largeur, ou la moitié de l'ordonnée entière BD de la courbe, & que m marque la tangente de l'obliquité de la direction du fluide, pendant que n désigne le sinus total. Supposé qu'on eût trouvé l'impulsion A par l'expérience, il n'y auroit qu'à chercher par le même moyen l'impulsion que recevrait la demi-largeur BC exposée directement au choc, & l'introduire à la place de y.



Bbb

C H A P I T R E V .

De l'impulsion des fluides sur les surfaces courbes.

ON peut examiner à peu près de la même manière les surfaces courbes, par rapport à l'impulsion qu'elles reçoivent; quoique la discussion en doive être ordinairement plus compliquée, à cause de l'attention expresse qu'il faut avoir à la double courbure dont elles sont capables. Je me contenterai de chercher les impulsions que souffrent deux différentes figures; l'une à cause de son extrême simplicité; l'autre à cause de l'application extrêmement étendue qu'on en peut faire.

I.

De l'impulsion que souffre une prouë conique.

Fig. 25. 1°. Suposons d'abord que la prouë DBLF (Fig. 25.) est un cône droit, ou pour parler plus exactement, est un demi-cône, dont BE est l'axe, & le demi-cercle DFL la base. Il est évident, vû la régularité de cette figure, que toutes les parties en seront frappées précisément avec la même obliquité, ou avec la même incidence, aussitôt que le mouvement de la prouë, ou le mouvement de l'eau qui viendra la rencontrer, se fera parallèlement à l'axe BE. Ainsi le quarré du sinus de l'angle d'incidence étant le même pour toutes les parties de la surface, il faudroit le multiplier par l'étendue de toutes ces parties, si on vouloit avoir la somme des impulsions absolues, qui s'exercent selon une infinité de différentes perpendiculaires à la surface. Mais puisque nous ne voulons obtenir que l'impulsion relative horizontale directe, ou l'impulsion particulière qui s'exerce dans la détermination parallèle à l'axe BE, il faut chercher la projection de chaque partie de la surface conique dans le plan de la base DFL, qui est perpendiculaire à la

direction dont il s'agit, & multiplier le quarré du sinus de l'angle d'incidence par l'étendue de ces projections. Or toutes ces projections jointes ensemble, forment la base entiere DFL; d'où il suit que pour avoir l'impulsion relative directe que souffre la proue entiere, il faut multiplier le quarré du sinus de l'angle d'incidence par l'étendue de la base DFL. Fig. 25.

L'impulsion relative directe est par conséquent diminuée par la saillie de la proue, dans le même raport que le quarré du sinus de l'angle d'incidence, qui est égal à l'angle LBE, que font les côtés du cône avec l'axe, est plus petit que le quarré du sinus total. Si l'angle LBE est de 45 degrés, le quarré du sinus de l'angle d'incidence sera la moitié du quarré du sinus total; & la prouë conique ne recevra que la moitié de l'impulsion, que recevrait la base DFL, supposé que le fluide la frapât perpendiculairement. Par la même raison, si l'angle LBE est d'environ 18 degrés 26 minutes, ou si l'axe BE est triple du rayon EL de la base DFL, la figure aigue du cône sera cause que l'impulsion sera dix fois moindre: car le quarré de EL étant 1, le quarré de BE sera 9, & celui de BL sera 10; & il est évident que le quarré de BL comparé à celui de EL, marque le raport du quarré du sinus total au quarré du sinus de l'angle d'incidence. En général si n marque le nombre de fois dont l'axe est plus grand que le rayon de la base, le nombre $n^2 + 1$ marquera combien de fois l'impulsion directe est diminuée par la saillie du cône. Il est clair aussi que puisque toutes les parties du demi-cercle, multipliées par le quarré du sinus d'incidence, représentent également les impulsions relatives directes que souffrent les parties correspondantes de la surface conique, l'impulsion directe que souffre la prouë entiere, doit s'exercer sur une direction qui passe par le centre de gravité du demi-cercle DFL.

2°. Il ne doit pas être plus difficile de découvrir l'impulsion que souffre la prouë dans le sens vertical, ou la quantité de la force dont elle est poussée verticalement de bas

Fig. 25. en haut par la rencontre du fluide. Il faut , pour avoir chaque des petites impulsions que souffrent dans ce sens les parties de la surface conique , multiplier le quarré du sinus de l'angle d'incidence par les petites parties correspondantes du plan DBL qui en sont les projections ; & pour avoir l'impulsion relative verticale entiere, il n'y a donc qu'à multiplier le quarré du sinus d'incidence par toute l'étendue du triangle DBL.

3°. Il suit de tout cela que l'impulsion relative que souffre la prouë conique dans le sens horisontal de son axe, est à l'impulsion relative qu'elle souffre dans le sens vertical, comme l'étendue du demi-cercle DFL est à l'étendue du triangle DBL. Ces deux étendues sont égales , l'une au rectangle de EL par la moitié FL de la demi-circonference DFL, & l'autre au rectangle de EL par EB. Ainsi elles sont l'une à l'autre comme FL est à EB ; & par conséquent les impulsions relatives , directe & verticale sont entr'elles dans le même rapport ; l'une est à l'autre comme l'arc du quart de cercle FL est à l'axe EB. Si on veut donc obtenir la force absolue avec laquelle la prouë est poussée par le concours de ces deux impulsions , il n'y a qu'à tirer une ligne horisontale VX , qui passe par le centre de gravité du demi-cercle DFL , & une verticale VY , qui passe par le centre de gravité du triangle DBL. Ces deux lignes représenteront les directions des deux impulsions relatives ; & si on prend depuis le point d'intersection V des espaces VX & VY , pour représenter ces deux forces , & qui soient en même raison que l'arc FL & la droite BE , il n'y aura conformément aux règles de la composition des mouvemens , qu'à achever le rectangle YVXZ ; & sa diagonale VZ indiquera la direction de l'impulsion composée ou absolue , & exprimera en même tems la grandeur de cette impulsion.

4°. Au reste il est facile de remarquer que les mêmes raisonnemens sont applicables à la prouë conique , qui ne plongerait qu'en partie dans l'eau ; qui n'enfoncerait , par exemple , que jusqu'au tiers ou au quart du rayon EF , &

qui auroit donc son axe BE élevé au-dessus de l'eau d'une certaine quantité. L'impulsion directe dans le sens horizontal seroit représentée par l'étendue du segment de la base DFL, qui se trouveroit submergé, & l'impulsion relative verticale par l'étendue de la coupe du cône faite à fleur d'eau parallèlement à l'axe BE. Cette coupe fera une hyperbole qui redeviendra le triangle DBL, lorsque la proue sera entièrement submergée. Dans tous ces cas les deux impulsions relatives s'exerceront toujours sur des directions qui passeront par le centre de gravité des surfaces qui les représentent.

Fig. 25.

II.

De l'impulsion que souffre une proue conoïdale formée par la circonvolution d'un arc de cercle.

1. Courbons maintenant les côtés BL & BD de la prouë; & au lieu de lignes droites, faisons - en des arcs de cercle, & formons la prouë par la circonvolution d'un de ces arcs autour de l'axe BE. Nous pouvons de cette sorte imiter sensiblement la forme d'une infinité de différens conoïdes, selon que nous prendrons l'arc du cercle générateur BL en différens endroits du quart de cercle IBL. Lorsque nous ferons commencer l'arc BL à moins de distance du point I, ou que nous prendrons pour axe BE de la prouë un sinus qui approchera davantage d'être égal au rayon IH, nous obtiendrons une prouë plus obtuse: ce sera le contraire, lorsque nous diminuerons l'arc BL; & nous pourrons encore, si nous le voulons, au lieu de prendre l'arc BL entier, nous arrêter à quelqu'une de ses parties comme BK, en ne formant la prouë qu'avec le conoïde partial QBKP.

Si nous considérons sur la surface de ce conoïde une zone QpK, formée par la révolution de l'arc infiniment petit Kk, toutes les parties de cette zone seront frappées avec la même incidence par le fluide qui se meut selon des paralleles à l'axe BE, & on pourra prendre la ligne KM,

Fig. 25. sinus de l'arc KL pour le sinus d'incidence. Car cette même ligne KM peut être regardée comme la direction du fluide, dont elle est le prolongement; & l'angle d'incidence qu'elle fait avec la surface du conoïde, ou avec la petite ligne Kk, ou avec la tangente à l'arc de cercle au point K, a pour mesure l'arc KL, dont KM est le sinus. Ainsi pour avoir l'impulsion que souffre dans le sens direct parallèle à l'axe BE, la zone QpK, il n'y a qu'à multiplier le quarré du sinus KM de l'angle d'incidence, par l'étendue de la zone projetée sur le plan DFL : c'est-à-dire par la couronne ou anneau R:M.

Mais le quarré de KM est continuellement égal à cause de la propriété du cercle, au quarré du rayon HI moins le quarré de HM; & comme nous pouvons mettre à la place du quarré de HM, le quarré de HE, joint à deux rectangles de HE par EM, & au quarré de EM, nous aurons à la place du quarré du sinus d'incidence KM, cette quantité $HI^2 - HE^2 - 2HE \times EM - EM^2$, ou $BE^2 - 2HE \times EM - EM^2$, parce que le seul quarré de BE est égal à $HI^2 - HE^2$. Nous aurons donc l'impulsion relative directe sur chaque zone QpK, en multipliant la quantité $BE^2 - 2HE \times EM - EM^2$ par l'étendue de chaque anneau correspondant R:M; & si nous réussissons à trouver la somme infinie de tous ces produits, nous obtiendrons l'impulsion directe sur toute la surface conoïde.

Chaque de ces produits est formé de trois termes. Premièrement le quarré BE^2 qui est la première partie, & une partie constante du quarré $BE^2 - 2HG \times EM - EM^2$ du sinus de l'angle d'incidence, doit être multiplié par chaque petit anneau R:M; & puisqu'il faut faire la même chose pour toutes les autres zones de la surface conoïdale, nous aurons la somme de tous les premiers termes, en multipliant le quarré de BE par l'étendue entière du demi-cercle DLF, qui est la somme de tous les anneaux. Nommant donc E l'étendue de la base DLF ou QPK, du conoïde DBLF ou QBPK qui forme la prouë, nous aurons $BE^2 \times E$ pour la somme des premiers termes de l'impulsion directe.

Les seconds termes ne sont autre chose que les produits de $2HE \times EM$ par l'étendue des anneaux R_1M ; & il est évident que ces anneaux croissent en même raison que EM qui leur sert de rayon, pendant qu'on suppose constante leur largeur infiniment petite Tr . Par conséquent les produits de $2EH \times EM$ par l'étendue de chaque anneau correspondant, croissent comme les quarrés de EM , ou croissent comme les quarrés de quantités qui augmentent en progression arithmétique; ils croissent comme les tranches d'un cône ou d'une pyramide, faites perpendiculairement à l'axe: & pour avoir leur somme infinie, il n'y a qu'à multiplier le plus grand de ces produits par le tiers de leur multitude. Il est clair que cette multitude est représentée ici par EL ; & il n'est pas moins évident que la plus grande de ces quantités est $2HE \times EM$ devenue $2HE \times EL$, & multipliée par le circuit DFL du plus grand anneau; c'est-à-dire que cette quantité est $2HE \times EL \times DFL$, ou $4HE \times \frac{1}{2}EL \times DFL$, ou enfin $4HF \times E$, en mettant l'étendue E à la place du produit $\frac{1}{2}EL \times DFL$ qui lui est égal. Si toutes ces quantités dont $4HE \times E$ est la dernière, étoient égales entr'elles, il nous faudroit encore multiplier $4HE \times E$ par EL qui est la somme de toutes les petites largeurs Mm qui doivent entrer aussi dans le produit; mais vû la progression qu'elles suivent, il ne faut multiplier que par $\frac{1}{3}EL$, & nous aurons donc $\frac{4}{3}HE \times EL \times E$ pour la somme infinie de tous les seconds termes de l'impulsion.

Il nous reste à trouver la somme des troisièmes termes qui sont les produits de EM^2 par l'étendue de chaque anneau correspondant R_1M . Ces produits augmentent comme les cubes de EM ; & il faut par conséquent multiplier le plus grand de ces produits par le quart de leur multitude. C'est-à-dire que $EL^2 \times DFL$ qu'il faudroit multiplier par EL , si toutes ces quantités qu'il s'agit de sommer, étoient égales entr'elles, ne doit être multipliée que par le quart de EL . Mais $EL^2 \times DFL$ est égal à $2EL \times \frac{1}{2}EL \times DFL$, ou à $2EL \times E$, lorsqu'on met l'étendue E à la place de $\frac{1}{2}EL \times DFL$. Ainsi il nous vient $\frac{1}{2} \times EL^2 \times E$ pour

Fig. 25.

Fig. 25.

la somme infinie des troisièmes termes.

Réunissant maintenant les sommes des trois termes qui composent l'impulsion directe, nous aurons pour cette impulsion $BE^2 \times E - \frac{4}{3}HE \times EL \times E - \frac{1}{2} \times EL^2 \times E$, ou la quantité $BE^2 - \frac{4}{3}HE \times EL - \frac{1}{2} \times EL^2$ multipliée par l'étendue E . Dans les cas où la proue ne sera formée que par le conoïde partial QBKP; au lieu du rayon EL de la base DFL, il faudra employer le rayon NK de la base QPK; & E désignant l'étendue de cette seconde base, on aura $BE^2 - \frac{4}{3}HE \times NK - \frac{1}{2} \times NK^2$ multiplié par E pour l'impulsion que recevra dans le sens de son axe le conoïde partial QBKP.

Supposé que HE se réduise à rien, ou qu'on prenne HI pour axe du conoïde, le second terme de la quantité précédente disparaîtra, BE deviendra IH , & l'impulsion que recevra la surface sphérique formée par la révolution de l'arc IK , sera exprimée par $IH^2 - \frac{1}{2} \times SK^2$ multiplié par E , qui désignera alors l'étendue du demi-cercle, dont SK est le rayon.

Enfin, si la proue est formée par la révolution du quart de cercle entier IL , l'impulsion sera $IH^2 - \frac{1}{2} \times HL^2$ ou $\frac{1}{2} \times IH^2$ multiplié par E ; ce qui montre que la convexité de l'hémisphère fait diminuer de moitié l'impulsion directe. Car si la surface E étoit exposée elle-même au choc & directement, elle recevrait une impulsion qui seroit exprimée, non pas par $\frac{1}{2} \times IH^2 \times E$, mais par $IH^2 \times E$, produit de son étendue par le carré du sinus total.

2. Il sera facile de comparer le conoïde que nous venons d'examiner avec le cône inscrit; & de juger lequel des deux est le plus propre à former une proue qui éprouve moins de résistance. Imaginons-nous que le point B soit le sommet du cône, & DEF sa base. L'angle d'incidence du fluide sur la surface du cône, sera égal à l'angle EBL , ou à la moitié de l'angle BHL , & son sinus sera par conséquent égal à la moitié de la corde BL qu'on doit suppléer dans la figure. Le carré du sinus d'incidence sera donc $\frac{1}{4} \times BE^2 + \frac{1}{4} \times EL^2$, & l'impulsion directe dans le sens de l'axe

l'axe fera le produit de cette quantité par E. Or si on retranche cette impulsion de celle que souffre le conoïde même DBFL, il restera $\frac{1}{4} \times BE^2 - \frac{1}{4} HE \times EL - \frac{1}{4} \times EL^2$ multiplié par E, pour l'excès de l'impulsion que reçoit le conoïde sur celle que reçoit le cône; & il est facile de reconnoître que cette quantité est réellement un excès, parce qu'elle est toujours positive. Ainsi le cône inscrit dans la circonstance que nous avons marquée, a un avantage réel sur le conoïde circonscrit: il fend toujours les fluides avec plus de facilité. Mais il est digne de remarque qu'à mesure qu'on fait augmenter BE ou diminuer HE, l'avantage aille en diminuant, & qu'il devienne nul aussi-tôt que le conoïde est un Hémisphère. Alors BE devient IH, pendant que EL devient HL, & que HE s'évanoût; ce qui anéantit entierement la difference qui se trouvoit entre les deux impulsions: l'hémisphère & le cône inscrit font alors diminuer par leur faillie l'impulsion également de moitié.

3. Ce sera en suivant à peu près la même voie, quoique la difficulté soit un peu plus grande, qu'on découvrira l'impulsion relative que souffre le conoïde dans le sens vertical. Si on nomme a le sinus total ou rayon IH; c la distance HE, & z la variable HM, on aura $a^2 - z^2$ pour le carré de KM, ou pour le carré du sinus de l'angle d'incidence sur toute la zone QpK: on aura en même tems $\frac{zdz}{\sqrt{a^2 - z^2}}$

qui est la différentielle de KM ($= \sqrt{a^2 - z^2}$) pour la valeur de KO ou de Nn; & si on multiplie cette valeur de KO par NK $= z - c$, & qu'on en prenne le double, il viendra $\frac{2z^2 dz - 2czdz}{\sqrt{a^2 - z^2}}$ pour le petit trapeze KQqk. Ce tra-

peze, qui est la projection de la zone QpK, est comme l'exposant de l'impulsion relative que souffre cette zone selon le sens vertical: c'est pourquoi il n'y a donc qu'à le multiplier par le carré $a^2 - z^2$ du sinus d'incidence, & on aura $2z^2 dz \sqrt{a^2 - z^2} - 2czdz \sqrt{a^2 - z^2}$ pour l'impulsion éle-

Ccc

Fig. 25. mentaire que souffre la zone ; impulsion qu'il ne reste plus qu'à intégrer , pour obtenir celle que reçoit la surface entière du conoïde.

L'intégrale qu'on trouve par les méthodes ordinaires est $\frac{1}{2}a^2 \int dz \sqrt{a^2 - z^2} + \frac{2}{3}c - \frac{1}{2}z \times a^2 - z^{\frac{3}{2}} - \frac{1}{6}c \times a^2 - z^{\frac{3}{2}}$ après qu'on l'a rendue complète. Ainsi s'il s'agit du conoïde partial QBKP , & qu'on nomme F l'étendue $\int dz \sqrt{a^2 - z^2}$ du segment BEMK compris entre les sinus BE & KM , & qui a pour largeur EM le rayon de la base du conoïde , on aura pour l'impulsion relative verticale $\frac{1}{2} \times HI^2 \times F + \frac{2}{3}HE - \frac{1}{2}HM \times KM^3 - \frac{1}{6}HE \times BE^3$. Cette valeur se réduira à $\frac{1}{2} \times IH \times F - \frac{1}{6}HE \times BE^3$ qui est beaucoup plus simple , lorsqu'il s'agira du conoïde entier DBFL ; parce que KM deviendra nulle , & alors F désignera l'étendue entière du segment BEL. Supposé d'un autre côté qu'on demande l'impulsion que souffre dans la détermination verticale une zone sphérique formée par la révolution de l'arc IK autour de IS comme axe ; alors HE sera nulle , & BE deviendra IH , la lettre F désignera l'étendue du segment IHMK ; & on aura $\frac{1}{2} \times IH^2 \times F - \frac{1}{2}HM \times KM^3$ pour l'impulsion.

Enfin si la zone ou surface sphérique est formée par la demi-révolution du quart de cercle entier IL , le sinus KM deviendra nul ; ce qui fera évanouir le dernier terme ; & l'impulsion relative verticale sera exprimée par $\frac{1}{2} \times IH^2 \times F$; c'est-à-dire , par la moitié du quarré du sinus total multipliée par l'aire du quart de cercle IHL : au lieu que nous avons vu ci-devant que l'impulsion relative dans la détermination horisontale parallèle à l'axe , est alors égale au produit de la moitié du quarré du sinus total par l'étendue entière E du demi-cercle. Ainsi on voit qu'une proue sphérique formée par la demi-révolution d'un quart de cercle , éprouve deux fois plus d'impulsion dans le sens horisontal que dans le vertical : & on en conclura , en consultant les Tables Trigonométriques , que la résistance totale ou absolue VZ qu'elle souffre par la rencontre de l'eau & qui est composée des deux impulsions relatives horisontale

VX, & verticale VY, s'exerce alors sur une direction Fig. 25.
VZ qui fait avec l'horison un angle ZVX d'environ 26
degrés 34 minutes.

CHAPITRE VI.

*Méthode de trouver l'impulsion que souffrent les surfaces
courbes en les partageant en plusieurs parties
sensiblement planes.*

CETTE matiere est susceptible d'une infinité de différentes recherches, vû la multitude infinie des surfaces courbes qu'on peut exposer à l'impulsion des fluides. J'ai donné ailleurs des formules générales pour examiner à cet égard tous les conoïdes, non-seulement ceux qui ont un cercle pour base, ceux aussi qui ont pour base tout autre plan.* Mais il faut l'avouer ingénument, que comme la carène n'a pas ordinairement une figure exacte, ni celle d'un conoïde, ni aucune autre, on est obligé presque toujours de renoncer aux moyens purement géométriques qui attribueront aux Navires une figure qu'ils n'auroient pas. Il faudra donc se contenter le plus souvent de partager la surface de la prouë en assez de parties, pour qu'elles soient sensiblement planes; & examiner ensuite l'une après l'autre & séparément l'impulsion que recevra chacune. L'opération que je vais indiquer pour cela, me paroît d'un usage beaucoup plus commode dans la pratique, que celle que j'ai donnée dans les additions à mon Traité de la Mâtüre.**

* Voyez le Traité de la Mâtüre des Vaisseaux, Chapitre VIII. de la premiere Section, & les Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, année 1733, page 94.

** Je négligeois de relever ici une petite injustice commise à mon égard sur ce sujet; parce que j'étois bien persuadé de la droiture des intentions de celui dont je pouvois me plaindre. M. Pitot parle dans sa Théorie de la Manœuvre (pages 105 & 16) comme si je n'avois pas donné dans mon Traité de la Mâtüre des Vaisseaux cette seconde méthode, que je vais encore expliquer actuellement, mais en la rendant plus simple. Cependant je l'avois déjà réduite à une

Trouver l'impulsion de l'eau dans la route directe sur une prouë dont on a le plan.

Nous supposons que toute la surface de la partie antérieure de la carène est divisée par plusieurs plans horizontaux & pratique régulière & commode : cette méthode, s'il m'est permis de le dire, me devoit toute sa perfection, comme on le verra en examinant les pages 128 & suivantes de mon Traité ; & il est certain qu'on ne peut pas la remplacer, par la manière particulière & trop limitée de M. Pitot, de considérer le Navire. Il l'a regardé comme un Polygone irrégulier, ou ce qui revient au même, il l'a supposé terminé par un simple trait horizontal : mais cette supposition ne seroit pas admissible, quand même toutes les tranches du Vaisseau faites horizontalement seroient des figures semblables ; parce que l'impulsion de l'eau seroit toujours altérée & altérée différemment, par les diverses inclinaisons de la surface de la carène dans le sens vertical.

Je me trouve obligé de faire cette note, voyant qu'un Auteur, dont l'ouvrage vient de paroître, repète en partie ce qu'avoit dit M. Pitot & ajoute outre cela, de son chef, que la méthode de partager la surface de la prouë en parties triangulaires sensiblement planes, n'est ni exacte ni d'un usage assez simple. Pour moi j'avoue que lorsqu'on a poussé la division de chaque moitié de la surface de la prouë jusqu'à une vingtaine de parties triangulaires, il me paroît que rien n'empêche de les traiter comme planes, dans les Navires de toutes les grandeurs : de même qu'on fait tous les jours avec succès des suppositions semblables dans les besoins de la Géométrie pratique. Que la méthode soit trop longue, je n'en conviens point encore, car l'Auteur n'a pas droit de me reprocher qu'on s'engage dans un travail de plusieurs jours, toutes les fois qu'on veut faire usage de cette méthode pour huit ou dix routes ; puisque je montrois, comme je le fais encore ici, le moyen de se dispenser de cette peine : je faisois voir qu'il suffit de chercher l'impulsion pour une ou deux routes, & presque toujours pour une seule. Je ne parlois en un mot d'un travail de plusieurs jours auquel il falloit se livrer, que pour mieux faire sentir l'importance de la Théorie que j'allois établir dans les Chapitres suivans, qui réduisoit ce long travail à une opération qui ne demandoit que quelques heures d'application. Qu'il me soit permis de représenter encore à l'Auteur, qu'on ne perfectionne point un Art en passant à côté des difficultés, ou en substituant des principes faux à la place des vrais, lorsque ceux-ci paroissent trop difficiles à appliquer. Il y a moyen d'ailleurs de faire toujours ensorte que la peine & le travail ne soient pas pour les Marins : il suffit que des personnes laborieuses & assez intelligentes pour cela achevent à Terre tous les calculs, ou toutes ces sortes d'opérations dont on peut ensuite rédiger les résultats & former des Tables pour la commodité des Navigateurs. On se trouve effectivement tous les jours sur Mer dans des circonstances pressantes qui ne permettent pas d'avoir recours pour se décider, à des pratiques numériques ou graphiques ; au lieu qu'on a toujours le tems de jeter les yeux sur une Table qui fournit des solutions toutes calculées. Mais il faut encore une fois que les personnes qui comme l'Auteur, nous offrent ces solutions, ne croient pas que c'est aplanir les difficultés, que de négliger quelques-unes ou plusieurs des conditions les plus essentielles.

verticaux également éloignés les uns des autres. Les plans verticaux, en coupant cette surface, fournissent la figure des membres, que les Constructeurs sont déjà dans la possession de tracer sur le plan même de la maîtresse varangue, sur lequel ils les projettent. Ces coupes sont représentées dans la Figure 75 par les lignes courbes ABD, GIBig, KLM/km, &c. qui sont ici rapportées sur le même plan, mais qu'il faut concevoir dans des plans différens & à une égale distance les uns des autres, en avançant vers l'extrémité de la prouë. Ces plans partagent toute la surface antérieure de la carène en plusieurs zones, dont la longueur est disposée selon le contour des varangues. Si après cela on imagine plusieurs plans, mais horizontaux, aussi également éloignés les uns des autres, dont les sections avec le maître gabari soient représentées par les droites AD, EP, RS, toute la surface de la prouë se trouvera partagée dans des especes de trapezes; mais je crois qu'il sera toujours à propos de pousser la division encore plus loin, pour que les parties de la surface aprochent plus d'être planes. On fera passer par la pensée des plans obliques, par l'intersection des plans horizontaux & verticaux; la surface de la prouë se trouvera de cette sorte toute partagée en triangles, dont on ne voit dans notre figure que les projections GHK, KHL, HLI, &c.

Fig. 75.

Tout cela étant supposé, & la figure étant achevée avec exactitude, il sera facile de trouver sans aucun autre secours, la mesure précise de l'angle d'incidence du choc de l'eau sur chaque partie triangulaire, ou même de trouver immédiatement le sinus de cet angle, ou le quarré de ce sinus. Proposons-nous le triangle dont GHK est la projection; nous abaïsserons de son sommet K la perpendiculaire KO sur la base GH qui est sensiblement droite, quoiqu'elle soit une partie de ligne courbe. Je forme ensuite à part un triangle rectangle OKV qui a pour côté KO la longueur de cette perpendiculaire, & pour autre côté KV la distance d'un plan vertical à l'autre, ou la distance dont la coupe KMk est plus avancée vers l'extrémité de

Fig. 75.

la prouë que la coupe GBg. Il est évident que OV représentera la hauteur de la partie triangulaire actuellement choquée, & que l'angle OVK sera égal à l'angle d'incidence, sous lequel l'eau rencontre cette partie ; puisque nous supposons que le choc se fait selon une parallèle à VX ou à l'axe.

Ainsi si on prend KV pour sinus total, il n'y aura qu'à abaisser la perpendiculaire KY sur OV, & cette perpendiculaire sera le sinus de l'angle d'incidence ; & pour avoir l'expression de son carré, il n'y aura qu'à abaisser du point Y la perpendiculaire YZ sur KV, & prendre le segment ou la partie interceptée KZ : car KV sera à KZ comme le carré de KV (sinus total) est à celui de KY (sinus d'incidence.) Il ne restera donc plus qu'à mesurer le segment KZ en parties égales, qui représentent des pouces ou des lignes, & le multiplier par l'étendue du triangle de projection HGK, & on aura l'impulsion relative directe, à laquelle sera exposée la partie triangulaire dont il s'agit. Si on multiplioit le segment KZ par l'étendue même de la partie triangulaire choquée, on auroit l'impulsion absolue ; mais pour avoir l'impulsion relative directe, il ne faut, comme nous l'avons déjà dit tant de fois, multiplier KZ que par le triangle de projection GHK, qui est perpendiculaire à cette direction. Au surplus il sera facile d'avoir l'étendue de ce même triangle ; puisqu'elle est la moitié du produit de GH par KO, que la figure fournit toujours, aussi-tôt qu'elle est faite exactement.

Il n'y aura qu'à faire la même chose pour toutes les autres parties triangulaires, en abaissant toujours les perpendiculaires KO, HQ sur le contour d'une des coupes ; faisant ensuite une somme de toutes les impulsions particulières qu'on aura trouvées, il viendra l'impulsion relative directe que recevra la prouë entière. On sçaura de cette sorte combien la faillie ou la convexité de la prouë fait diminuer l'impulsion : car si la prouë étoit sans faillie & qu'elle fût terminée par un plan exactement vertical

ARBSD, l'impulsion seroit représentée par l'étendue entière de ce plan multipliée par KV. Fig. 75.

II.

Trouver l'impulsion de l'eau dans les routes obliques.

1°. Quoique l'opération dans laquelle il faut s'engager pour trouver l'impulsion que souffre la proue dans les routes obliques, conserve toujours beaucoup de la simplicité à laquelle nous avons porté la première, elle ne peut pas cependant manquer d'être plus longue. Nous avons besoin pour cela d'un principe qui nous servira encore dans plusieurs autres rencontres. Supposons que EF (Fig. 76.) soit la direction d'un fluide qui se meut horizontalement & qui vient rencontrer obliquement la base CD d'une surface plane posée verticalement. Si on prend l'espace EF pour représenter le sinus total; & que du point E on abaisse la perpendiculaire EG sur la base CD, cette perpendiculaire sera le sinus de l'angle d'incidence, & son quarré représentera la force de l'impulsion. Mais si on incline la surface qui étoit située verticalement, la ligne EG qui étoit perpendiculaire à la base CD, ne sera plus perpendiculaire à la surface; mais ce sera une autre ligne EH plus petite que EG, dans le rapport du sinus de l'angle d'inclinaison EGH au sinus total ou au sinus de l'angle droit H. Ainsi l'impulsion qui étoit représentée par le quarré de EG le sera désormais par le quarré de EH, qui est maintenant le sinus de l'angle d'incidence; & on voit que le sinus total est à ce sinus d'incidence, en raison composée de la raison du sinus total au sinus de l'obliquité EFG de la direction du fluide, par rapport à la base CD de la surface, & de la raison du sinus total au sinus de l'inclinaison EGH de la même surface. Il suit donc de là que si on change l'obliquité de la base de la surface, sans changer l'inclinaison: ou que si on change l'inclinaison de la surface en laissant constante l'obliquité de la base, l'impulsion sera

Fig. 76. comme le seul quarré du sinus de l'obliquité ou de l'inclinaison changée.

Ce principe étant admis , je suppose qu'on a divisé la surface de la prouë en plusieurs petits triangles , comme ci-devant , & qu'on a même déjà cherché pour chaque partie la grandeur du sinus de l'angle d'incidence pour la route directe. Ces sinus d'incidence seront découverts pour l'inclinaison de chaque petite surface & pour l'obliquité de la base par rapport au cours direct de l'eau. L'inclinaison n'est pas sujette à changer puisqu'elle ne dépend que de la nature de la surface ; il n'y a que l'obliquité de la base par rapport au cours du fluide , qui devient différente dans les routes obliques. Ainsi les sinus d'incidence doivent changer précisément en même raison que les sinus de ces obliquités ; & il nous faut donc travailler d'abord à exprimer le rapport que suivent ces derniers sinus.

Fig. 77. &
78.

Je forme pour cela un triangle GKV (Fig. 77. & 78.) qui a un côté KV égal à l'intervale qu'il y a entre les plans verticaux qui divisent la surface de la prouë. Son second côté GK est égal à GK de la figure 75 & l'hypothénuse GV est par conséquent égale au côté horisontal de la partie triangulaire exposée au choc , & dont GKH est la projection. Dans la route directe le fluide se meut parallèlement à VK , & il suffit donc d'abaisser du point K la perpendiculaire KQ sur GV , pour avoir le sinus de l'obliquité du fluide par rapport à la base GV de la partie choquée de la surface de la prouë. Mais dans les routes obliques le fluide n'a pas une direction parallèle à KV. Je tire une ligne VX pour représenter la direction du fluide , laquelle doit faire avec VK un angle égal à celui de la *dérive* ou à la déviation de la route. Je conduis cette ligne en dehors , comme dans la Figure 77 , pour toutes les parties triangulaires qui appartiennent au côté de la prouë qui est le plus exposé au choc : au lieu que je la tire en dedans pour l'autre côté , comme dans la Figure 78. Je retranche ensuite VL égale à VK ; & abaissant du point L la perpendiculaire LS sur VG , j'aurai dans cette perpendiculaire le sinus

nus de la nouvelle obliquité LVG du fluide par rapport à la base de la partie triangulaire choquée , & par conséquent KQ & LS marqueront le rapport qu'il y a entre les sinus d'incidence qui appartiennent aux deux divers cas. C'est pourquoi je tire par les points L & K la droite LP jusqu'à la rencontre de VG prolongée ; & transportant en QR le sinus d'incidence qui appartient à la route directe & que je prend en KY dans la Figure 75 , je n'ai plus qu'à tirer la droite PRT & elle me déterminera en ST le sinus d'incidence que je cherchois pour la route proposée.

Toute l'opération se réduit donc , si nous la prenons dès le commencement , à former pour chaque petite partie triangulaire de la surface de la proue , un triangle rectangle OKV (Fig. 75.) qui ait son côté KV égal à la distance d'un plan vertical à l'autre de ces plans qui ont servi à diviser la surface de la pouë , & pour second côté KO la perpendiculaire , qui dans chaque triangle GKH ou KHL de projection est abaissée du sommet K ou H sur le côté opposé GH ou KL , qui est une partie de la ligne courbe qui forme les coupes. Dans le triangle OKV on abaissera la perpendiculaire KY sur l'hypoténuse ; & on aura , comme on le sçait , le sinus d'incidence pour la route directe. On fera ensuite un autre triangle GKV (Fig. 77. & 78.) dans lequel le côté KV fera le même ; & KG égal à KG de la Figure 75. On tirera VX qui doit faire avec KV un angle KVX égal à la dérive : On fera LV égal à KV , & abaissant les deux perpendiculaires KQ & LS sur GV , elles marqueront le rapport qu'il y a entre les sinus d'incidence pour la route directe & pour la route oblique proposée. Enfin on tirera LP ; & mettant en QR le sinus d'incidence trouvé ci-devant pour la route directe ; la droite PRT terminera donc en T le sinus d'incidence requis TS , pour la route oblique.

Fig. 75. 77.
& 78.

Je crois qu'il n'est pas nécessaire d'avertir que le sinus d'incidence étant ainsi découvert & mesuré sur une échelle de parties égales , il ne restera plus qu'à en multiplier le quarré par l'étendue de la projection GHK , ou KHL

Ddd

Fig. 75.
77. & 78.

(Fig. 75.) de chaque partie triangulaire de la surface, pour avoir l'impulsion qu'elle reçoit, & qu'ajoutant ensemble toutes les impulsions particulières, on aura l'impulsion dans le sens de l'axe sur toute la prouë. Nous ajouterons seulement qu'on peut se dispenser de repeter la même opération pour plusieurs routes obliques, en se contentant de la faire pour une seule & pour la route directe; parce que les excès des impulsions dans les routes obliques sont continuellement proportionels aux quarrés des sinus de l'obliquité de la route par raport à la quille. On démontrera dans le Chapitre suivant cette propriété singulière, qu'on peut aussi déduire des formules du Chapitre IV. & de celles dont nous avons parlé à la tête de celui-ci; propriété qui, comme on le voit, peut nous épargner un travail très-considérable. L'impulsion dans le sens de l'axe étant trouvée pour la route directe & pour une seule route oblique; on n'a que cette simple analogie à faire: le quarré du sinus de la déviation de la route, est à l'excès de l'impulsion pour cette route oblique sur l'impulsion que souffre la prouë dans la route directe, comme le quarré du sinus de toute autre déviation sera à l'excès de l'impulsion qu'elle produira, sur l'impulsion de la route directe.

2°. On trouvera l'impulsion que souffre en même tems la prouë dans le sens latéral, ou dans la détermination horizontale perpendiculaire à l'axe, en multipliant le quarré du sinus d'incidence par chaque petite partie triangulaire de la surface de la prouë, projetée sur le plan vertical qui coupe le vaisseau par le milieu selon sa longueur. Il est évident que chaque partie triangulaire a pour projection un autre triangle qui a pour base la distance d'un plan vertical à l'autre, de ces plans qui partagent la surface de la prouë, & pour hauteur la quantité dont les plans horizontaux sont les uns au-dessus des autres. C'est ce qu'on verra en y faisant un peu d'attention, & en jettant les yeux sur la Figure 75. Tous ces triangles sont égaux entr'eux: ainsi pour avoir l'impulsion latérale par une seule opéra-

tion, il n'y a qu'à multiplier la somme de tous les quarrés des sinus d'incidence par l'étendue d'un seul triangle. Il suffira encore d'employer cette méthode pour une seule route oblique. Car nous démontrerons que les impulsions latérales totales sont proportionnelles aux rectangles des sinus des obliquités par leurs sinus de complement: d'où il suit que connoissant une de ces impulsions, il est très-facile de découvrir toutes les autres.

Fig. 75.
77. & 78.

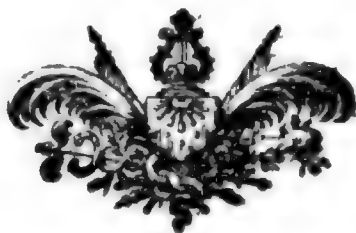
3°. Si on veut obtenir l'impulsion relative qui agit dans le sens vertical, il n'y aura qu'à multiplier le quarré de chaque sinus d'incidence par le triangle de projection que donne sur un plan horizontal, chaque partie triangulaire de la surface de la prouë. Il n'est pas difficile de reconnoître que tous ces triangles de projection ont une égale hauteur; ils ont pour hauteur la distance qu'il y a entre les plans verticaux qui partagent la surface, & pour base les excès des demies largeurs de la prouë mesurées les unes au-dessous des autres dans les mêmes plans verticaux.

4°. Enfin il ne restera plus qu'à déterminer la direction sur lesquelles s'exercent les impulsions. Celle que souffre chaque petite partie triangulaire peut être considérée comme réunie dans le centre de gravité du triangle de projection. Ainsi il n'y aura, conformément au grand principe de Statique, qu'à concevoir un plan vertical à côté du Navire parallèlement à sa longueur, & multiplier chaque petite impulsion directe par la distance des centres de gravité de tous les petits triangles KGH, KHL à ce plan; & divisant la somme des produits par celle des impulsions; on sçaura combien la direction composée ou commune est éloignée du plan qu'on a pris pour terme. Il ne sera pas plus difficile de trouver combien cette même direction est enfoncée dans l'eau, en imaginant un plan horizontal auquel on prendra toutes les distances. On appliquera la même méthode aux impulsions latérales, &c.

Ces recherches étant achevées, on connoîtra non-seulement les impulsions que souffre la prouë dans le sens direct ou dans la détermination latérale perpendiculaire à

Ddd ij

l'axe , on connoîtra la situation des lignes qui leurs servent de directions ; & il sera facile d'en trouver la direction composée. Tirant deux lignes RM & RN (Fig. 67.) l'une parallèle à l'axe de la prouë & à la distance qu'on aura trouvée que doit être la direction de l'impulsion relative directe ; l'autre RN perpendiculaire à l'axe & à la distance PA de l'extrémité de la prouë qu'agit l'impulsion latérale , il n'y aura qu'à prendre sur ces lignes depuis leur intersection R des espaces RM & RN pour représenter les deux impulsions ; & achevant le rectangles RMTN , on aura dans sa diagonale RT l'impulsion absolue qui résulte de la composition des deux autres & sa direction. Ce sera selon la même ligne RT , mais en sens contraire , que doit s'exercer l'impulsion du vent sur la voile , conformément à la Théorie établie dans le premier Chapitre de cette Section. Quand même il seroit nécessaire d'entreprendre pour plusieurs routes , toutes les opérations que nous venons de prescrire , je ne crois pas , vû les connoissances qu'elles procureront , qu'on pût nous objecter leur longueur. Elles seront principalement utiles , lorsqu'on voudra choisir entre différens plans proposés pour le même Navire : On distinguera d'une manière infallible celui qui par la figure de sa prouë fera diminuer le plus la résistance de l'eau ; & il suffira presque toujours pour cela , comme on le verra dans un moment , d'examiner l'impulsion à laquelle chaque figure est sujette dans la route directe.



CHAPITRE VII.

Remarques sur les changemens que reçoivent les impulsions que souffrent les surfaces courbes , lorsque le fluide change de direction.

IL nous reste à démontrer diverses choses , que nous venons de laisser sans preuve. Nous allons y suppléer ; & nous profiterons de l'occasion pour exposer en même tems plusieurs autres propriétés très-remarquables , ou plutôt très-surprenantes , qu'ont les surfaces courbes par rapport aux impulsions qu'elles reçoivent. Nous en avons déjà expliqué ailleurs quelques unes * : mais nous en découvri-
rons ici de nouvelles ; & la manière outre cela dont nous exposerons les anciennes , leur donnera peut-être un nouveau degré d'évidence à toutes. Quoique la surface de la proue ait une courbure mécanique , qu'elle soit irrégulière , qu'elle soit même comme formée au hasard , les chocs auxquels elle est sujette changent selon une loi expresse , & leur relation , comme on s'en convaincra , peut toujours s'exprimer d'une manière générale & géométrique.

* Voyez les addit. au Traité de la Manœuvre des Vaisseaux, Chap. V. & suivans.

I.

Soit VG (Fig. 79.) une petite partie droite ou plane d'une ligne ou d'une surface courbe exposée au choc d'un fluide , laquelle est terminée par GK & VK perpendiculaire & parallèle à l'axe de la surface totale. Dans la route directe ou lorsque la proue se meut parallèlement à son axe ou à KV , on a GVK pour l'angle d'obliquité de la direction du fluide par rapport à la surface , qui peut d'ailleurs être inclinée par rapport à l'horison ; mais nous ne faisons point intervenir ici cette considération , parce que nous ne nous proposons pas de découvrir la quantité réelle de l'impulsion , mais seulement le changement qu'elle souffre dans

Fig. 79.

Fig. 79. les routes obliques ; changement , qui selon ce que nous avons prouvé au commencement du second article du Chapitre précédent , ne dépend que du seul sinus de l'obliquité. Ce sinus dans la route directe est KQ , lorsqu'on prend VK pour sinus total & que KQ est perpendiculaire à GV . Mais si la route est oblique , si la prouë , au lieu de choquer l'eau selon des paralleles KV à l'axe , la va rencontrer selon des paralleles à XV , & que XVK soit donc égal à la déviation de la route ou à l'angle de la *dérive* , on aura l'angle GVX , pour l'obliquité actuelle du fluide par rapport à la surface , & LS pour son sinus ; & si on fait l'angle KVx égal à l'angle KVX , on aura l'angle GVx pour l'obliquité du fluide par rapport à l'autre partie de la prouë correspondante de GV , & qui est de l'autre côté de l'axe , & lx fera le sinus de cette seconde obliquité ; supposé que lv de même que LV soit égale à KV , & que lx & LS soient perpendiculaires à GV . Nous partagerons de cette sorte moins notre attention , & on voit bien que ce fera précisément la même chose que si nous considérons en même tems deux petites parties de la prouë également situées de part & d'autre de l'axe. Les deux impulsions que reçoivent ces deux parties se joignent ensemble , puisqu'elles s'exercent précisément dans le même sens : c'est pourquoi il nous reste à trouver la somme des quarrés de sinus LS & lx , & à la multiplier par GK .

Du point M qui est au milieu de la corde Ll de l'arc de cercle lKL , j'abaisse la perpendiculaire MR sur GV ; & je remarque que la quantité MO dont elle est plus grande que le sinus lS , est égale à la quantité NL dont elle est plus petite que l'autre sinus LS : c'est-à-dire que nous avons $RM + NL$ & $RM - NL$ pour le sinus des obliquités du fluide par rapport aux deux petites parties de la prouë ; & nous aurons donc $\overline{RM}^2 + 2 \times RM \times NL + \overline{NL}^2$ & $\overline{RM}^2 - 2RN \times NL + \overline{NL}^2$ pour leurs quarrés , & $2 \times \overline{RM}^2 + 2 \times \overline{NL}^2$ pour la somme de ces quarrés. Ainsi il n'y a qu'à

multiplier le double de $\overline{KM}^2 + \overline{NL}^2$ par GK pour avoir l'im- Fig. 79.
 pulsion relative directe $2 \times \overline{RM}^2 \times GK + 2 \times \overline{NL}^2 \times GK$ que
 souffrent les deux parties correspondantes GV conjointe-
 ment ; en tant que cette impulsion dépend de l'obliquité
 de la direction que suit le fluide. Après cela il faut faire at-
 tention que quelque changement que reçoive l'angle
 K VX , qui est l'obliquité de la route ou de la direction
 du fluide par raport à l'axe de la prouë , la ligne RM con-
 serve toujours le même raport à MV qui est le sinus de
 complement de cette obliquité. La premiere est à la se-
 conde continuellement comme GK est à GV ; & NL est
 aussi toujours proportionelle à ML , qui est le sinus de cette
 même obliquité. Or il suit de là , que l'impulsion que souf-
 frent selon la détermination relative parallele à l'axe deux
 portions correspondantes de la surface de la prouë , est for-
 mée dans les routes obliques de deux parties , dont l'une
 est toujours proportionelle au quarré du sinus complement
 de l'obliquité de la route , & l'autre proportionelle au
 quarré du sinus de cette même obliquité.

II.

Mais la remarque peut encore être poussée plus loin.
 Si l'obliquité de la route augmente ou diminue , de manie-
 re que le quarré de son sinus LM augmente ou diminue
 exactement en progression arithmetique , le quarré de son
 sinus de complement VM , changera aussi , quoi qu'en sens
 contraire dans la même progression , puisque les deux
 quarrés font toujours une somme constante , ou qu'ils sont
 égaux ensemble au quarré du sinus total VL. Mais les
 quarrés de LM & de VM changeant en progression arith-
 metique , les quarrés de NL & de RM qui ont chacun un
 raport constant aux deux autres quarrés , pour chaque par-
 tie GV & sa correspondante , changeront dans la même
 progression , & par conséquent les impulsions directes que
 souffriront les deux parties correspondantes de la prouë ,

Fig. 79. changeront aussi en progression arithmétique. Il est vrai que si on examine deux autres parties correspondantes de la prouë, l'impulsion qu'elles recevront ne suivra pas précisément la même progression ; ce qui viendra non-seulement de ce que les rapports de RM à MV & de NL à ML seront différens ; mais aussi de ce que ces autres parties auront des inclinaisons différentes dans le sens vertical. Mais les impulsions auxquelles elles seront sujettes conjointement, étant prises deux à deux, changeront cependant toujours en progression arithmétique ; car on pourra leur appliquer tout ce que nous avons dit des deux parties GV. Or puisqu'il est certain qu'en ajoutant les termes d'une telle progression avec les termes, j'en dis pas simplement de deux ou de trois autres, mais d'une infinité, on retrouve toujours une progression arithmétique, il s'ensuit que *c'est une propriété commune aux prouës de toutes sortes de figures, que lorsque l'obliquité de la route change, de manière que le quarré de son sinus croît ou diminue en progression arithmétique, l'impulsion dans le sens de l'axe ou de la quille, change aussi en progression arithmétique*

III.

Il est selon cela très-facile de représenter par lignes les impulsions que souffrent dans toutes les routes, selon le sens de leur axe, les prouës de toutes sortes de figures. Il n'y a qu'à appliquer ces impulsions aux quarrés des sinus des obliquités des routes, & comme elles seront en progression arithmétique, elles seront terminées par une ligne droite. Je prens l'espace CA (Fig. 80.) pour représenter le sinus total, & en même tems l'axe de la surface courbe qui sert de prouë, laquelle n'est pas exprimée dans la figure pour éviter le confusion. Je trace sur CA comme diamètre un demi-cercle ABC, & les droites CX₁, CX₂, &c. représentant les diverses directions selon lesquelles le fluide rencontre la prouë, les droites AL₁, AL₂, &c. seront les sinus des obliquités des routes ou des

Fig. 80.

des divers angles de déviation ou de dérive, & CL_1, CL_2 , &c. les sinus de complement. Il est évident outre cela que les parties AM_1, AM_2 , &c. du diamètre qui sont interceptées entre le point A & les perpendiculaires au diamètre qui passent par les points L_1, L_2 , &c. représenteront les quarrés des premiers Sinus AL_1, AL_2 ; puisque AC étant à AL_1 , comme AL_1 à AM_1 , le quarré du sinus total AC est au quarré du sinus AL_1 comme AC est à AM_1 . Par la même raison les parties CM_1, CM_2 représentent les quarrés des sinus de complement CL_1, CL_2 , &c.

Cela supposé, il n'y a qu'à porter depuis A jusqu'en O perpeudicairement à CA l'espace AO pour représenter l'impulsion directe que souffre la prouë entiere, lorsque l'obliquité de la route est nulle; & tirant la droite CO, on aura en M_1P_1 , en M_2P_2 , &c. les premieres parties de l'impulsion que souffre la prouë entiere selon l'axe, dans les routes de toutes les diverses obliquités: on aura les premieres parties qui sont proportionnelles aux quarrés CM_1, CM_2 , &c. des sinus complement des angles de déviation. Les secondes parties P_1R_1, P_2R_2 de ces mêmes impulsions, qu'il faut ajouter aux premieres, seront proportionnelles aux quarrés AM_1, AM_2 , &c. des sinus mêmes des obliquités des routes: ainsi elles seront interceptées entre la droite OC & une autre droite OQ: & par conséquent les impulsions entieres seront représentées par les lignes entieres M_1R_1, M_2R_2 , &c. interceptées entre l'axe AC & la droite OQ. Si le fluide en venant choquer la prouë suit la direction HC ou des paralleles à cette ligne, l'impulsion selon la détermination directe de l'axe, sera représentée par DS qui passe par l'intersection B de la direction CH & du demi-cercle ABC. Si le fluide suit la direction X_2C ou X_1C , l'impulsion sera représentée par M_2R_2 ou M_1R_1 : & enfin si le fluide se meut selon l'axe même AC, l'impulsion sera exprimée par AO; la seconde partie P_1R_1 qui est proportionnelle au quarré du sinus de l'obliquité de la route, disparoissant dans ce cas.

Ce qu'il y a de particulier en tout ceci, c'est que gé-

E e e

Fig. 80.

néralement toutes les surfaces courbes, aussi-tôt que leurs deux moitiés sont parfaitement égales de part & d'autre de leur axe, ont ainsi une ligne droite OQ pour *limitatrice* de toutes les impulsions qu'elles reçoivent dans le sens de leur axe, lorsque le fluide change de direction : & on reconnoît aisément que ce doit être la même chose à l'égard de l'impulsion relative qui s'exerce de bas en haut dans la détermination verticale. Cet ordre s'observe à l'égard même des surfaces qui ne suivent aucun ordre dans l'arrangement de leurs parties. La surface qui reçoit le choc peut non-seulement être mécanique, dans le sens que l'entendent ordinairement les Géomètres, mais ne garder aucune loi dans sa courbure ; il semble qu'une pareille surface, quoique ses deux moitiés soient égales, ne doit avoir aucune propriété soumise aux règles de la géométrie, par la raison qu'elle-même en est affranchie ; mais cela n'empêchera pas que les impulsions qu'elle recevra, ne suivent l'ordre que nous venons de marquer. Ainsi on voit qu'il suffit de connoître ces impulsions pour deux cas différens, pour le cas de la route directe & d'une seule route oblique, pour qu'on soit en état de les découvrir pour toutes les autres. On voit aussi que leurs excès sur AO qui représente l'impulsion pour la route directe, sont continuellement proportionels aux parties AM₁, AM₂, &c. de l'axe AC, lesquelles représentent les quarrés des sinus des obliquités des routes : ce qui justifie pleinement l'analogie que nous avons prescrite dans le Chapitre précédent à la fin du num. 1. article II.

I V.

Il suffit même souvent de connoître l'impulsion relative directe pour le seul cas de la route directe : car si c'est une ligne courbe, dont les deux branches soient égales, qui reçoit le choc, on connoitra toujours, comme on l'a vû dans le Chapitre IV. l'impulsion DS qu'elle recevra, lorsque le fluide la choquera selon les paralleles à HC avec une obliquité de 45 degrés. Pour les autres figures, il est

aussi très-souvent une certaine obliquité , pour laquelle l'impulsion est également connue : elle est connue ; parce qu'elle est exactement la même , soit que la surface ait beaucoup de saillie , ou qu'elle en ait peu , ou qu'elle n'en ait point du tout. Nous avons montré , par exemple , dans notre Traité de la Mâtüre * , que tous les conoïdes qui ont la même base , sans qu'il importe par quelle ligne courbe ils soient formés , ni quelle longueur ait leur axe , éprouvent le même choc direct , lorsque le fluide les frappe avec une obliquité d'environ 54 degrés 44'. C'est encore précisément la même chose lorsque la base au lieu d'être un cercle , est un triangle rectangle isocèle : & en général tous les conoïdes qui ont pour base un triangle isocèle quelconque dont le sommet est en bas , reçoivent la même impulsion selon leur axe , lorsque l'obliquité de la route a pour tangente la sécante de la moitié de l'angle d'en bas de la base ; & cette impulsion est exactement égale à celle que recevrait la base même , si elle étoit choquée avec la même obliquité. Lorsque la base sera en particulier un triangle équilatéral , la sécante de la moitié de l'angle d'en bas , sera $n\sqrt{\frac{1}{3}}$ par rapport au sinus total n , & prenant $n\sqrt{\frac{1}{3}}$ pour tangente ; on trouvera que l'obliquité de la route doit être d'environ 49 degrés 6 $\frac{1}{2}$ ' pour que tous ces conoïdes , quel que soit d'ailleurs la courbure de leur saillie & la longueur de leur axe , reçoivent précisément la même impulsion les uns que les autres ; & une impulsion égale à celle que recevrait leur base si elle étoit exposée au choc. Or il n'en faut pas davantage pour pouvoir conduire la droite OQ *limitatrice* de toutes les impulsions ; pourvu que connoissant déjà l'impulsion AO pour la route directe , on sache le point O d'où doit partir OQ.

Fig. 802

* Voyez page 158.

V.

Mais , puisqu'il est une certaine obliquité de route qui rend l'impulsion dans le sens de l'axe exactement la même dans tout un genre de figures , il s'ensuit qu'il y a un point S par lequel passent toutes les *limitatrices* OQ , oq , ox des

E e e ij

Fig. 10. impulsions que reçoit chaque figure particulière. Le Lecteur voit assez que nous comprenons sous un même genre toutes les prouës terminées par un seul trait horizontal, quelle que soit la nature de la courbe qui forme ce trait. Nous regardons comme un autre genre tous les conoïdes circulaires, sans qu'il importe par quelle ligne courbe ils soient formés. Les conoïdes dont la base est un triangle déterminé, constituent autant de différens genres qu'il y a de différens triangles, ce qui en fournit une infinité. Les prouës qui sont faites sur le modèle de la figure 104, dont nous parlerons dans le premier Chapitre de la dernière Section, forment un genre particulier, mais qui se rapporte à celui des prouës terminées par un simple trait horizontal; de même que celles qui imitent la figure 108; quelque soit leur base ABA. A l'égard de chacun de ces genres le point S est comme un pôle; & les lignes OQ, oq, &c. ne prennent diverses situations que parce que la première impulsion AO que reçoit chaque prouë dans la route directe, est plus ou moins grande, selon que cette prouë a plus ou moins de faillie.

Une prouë parabolique reçoit une plus grande impulsion $A\omega$; une prouë hyperbolique en reçoit une moindre Ao , & une prouë formée de deux lignes droites, en reçoit encore une plus petite AO. Mais toutes les droites OQ, oq, &c. se coupent en S sur la droite DS qui part du milieu D de AC; parce que toutes ces figures qui sont censées ici du même genre, sont sujettes à la même impulsion, aussi-tôt qu'elles ont la même largeur & que le fluide les choque en suivant une direction HC qui fait avec leur axe un angle de 45 degrés. Ainsi toutes ces prouës se divisent en deux classes bien différentes. Les unes ont moins de faillie, & l'impulsion directe qu'elles reçoivent n'est pas d'abord diminuée de moitié; mais elle va en diminuant lorsque l'obliquité de la route augmente. Les autres au contraire ont plus de faillie, & l'impulsion directe est plus petite que DS; mais cette impulsion va en croissant lorsque la route devient plus obli-

que. Il faut remarquer que si au lieu de lignes courbes, Fig. 80. il s'agit de surfaces conoïdales qui ont des triangles ou des cercles pour bases, le point S sera plus proche de CQ; puisque ce n'est pas l'obliquité de 45 degrés, mais celle de 49 degrés 6', ou de 54 degrés 44', &c. qui fait que toutes ces surfaces reçoivent la même impulsion dans le sens de l'axe.

VI.

Il suit de tout cela, que pour certaines surfaces particulières, la droite OQ *limitatrice* des impulsions doit être parallèle à AC; ce qui fait la séparation des deux cas dont nous venons de parler, & en constitue un troisième; alors quelque direction que suive le fluide, l'impulsion directe sera toujours la même: il n'importe que la prouë suive une infinité de routes obliques différentes, elle ne sera toujours exposée qu'au même choc selon son axe. C'est ce qui doit arriver à toutes les lignes courbes dont la saillie ou la convexité rend l'impulsion dans la route directe, deux fois moindre que si le fluide frapoit la base même: car alors la première impulsion AO sera égale à l'impulsion DS que souffre la courbe, lorsque l'obliquité de la route ou de la direction du fluide est de 45 degrés; & il n'en faut pas davantage pour que OQ & AC soient parallèles & que toutes les impulsions M_1R_1 , M_2R_2 , &c. deviennent égales. Chaque parabole, chaque hyperbole, &c. fournit un arc qui a cette propriété singulière: la parabole, par exemple, lorsque son ordonnée de chaque côté, est double de l'arc de cercle qui a le demi paramètre pour rayon, & la même ordonnée pour tangente*. C'est ce qui arrive aussi à la prouë angulaire formée de deux lignes droites, aussitôt que l'angle qui lui sert de pointe est exactement droit; il n'importe ensuite que le fluide choque cette prouë ou selon une direction parallèle à son axe, ou selon une ligne oblique quelconque, l'impulsion directe est exactement la même.

* Voyez
l'art. 3. du
Chap. 3. de
cette pré-
sente Sect.

Tous les cones, tous les conoïdes parfaits, lorsqu'ils

Fig. 80. sont choqués avec une obliquité de 54 degrés 44', ne reçoivent que le tiers de l'impulsion directe que recevrait leur base, si elle étoit frappée perpendiculairement. Ainsi toutes les fois que la saillie ou la convexité d'une surface conoïdale rend dans le choc direct l'impulsion trois fois moindre, cette surface doit éprouver précisément la même impulsion directe dans toutes les routes, sans que les diverses obliquités du choc y apportent aucune augmentation ou diminution; car alors $AO = DS$, & OQ doit être parallèle à AC . Toutes les especes de lignes courbes qui forment un conoïde par leur révolution autour de leur axe, nous offrent de ces surfaces. On peut en trouver une infinité dans le seul conoïde formé par la révolution d'un arc de cercle, dont nous avons parlé dans l'art. II. du Chap. V. & tel est aussi, par exemple, le cone dont l'angle total au sommet, est d'environ 70 degrés 32', ou dont le diamètre de la base est à la hauteur, comme la diagonale du quarré est à son côté, ou comme 141 est à environ 100. Ce cone reçoit toujours la même impulsion dans le sens de son axe, quelque soit la direction du fluide qui le frappe.

VII.

Une autre conséquence aussi curieuse & incomparablement plus importante, qu'on peut tirer du passage continuél par le même pole S de routes les *limitatrices* OQ , oq , &c. des impulsions que souffrent les figures de même genre: c'est que plus la premiere impulsion AO sera petite, plus les autres impulsions M_1R_1 , M_2R_2 , &c. que recevra la même figure dans les autres routes, le seront aussi: & si l'impulsion AO est un *minimum*, les autres impulsions M_1R_1 , M_2R_2 le seront également. Il suffit par conséquent que la courbe ou que la surface qui est exposée au choc du fluide, reçoive la moindre impulsion dans la route directe, pour qu'elle reçoive aussi la moindre impulsion dans les routes obliques. Cependant cet avantage doit se perdre à la fin; il se perd lorsque l'obliquité est assez grande, pour que

l'impulsion soit représentée par DS, puis qu'alors toutes les figures de même genre reçoivent précisément la même impulsion, sans qu'il y ait de distinction entr'elles.

Fig. 80.

Une particularité qui est encore très-digne de remarque, c'est que si la route devient encore plus oblique, l'impulsion qui étoit auparavant un *minimum* deviendra un *maximum*: car plus AO est petite, plus les lignes comme M₃R₃ au-delà du pôle S, doivent être grandes. Ainsi l'avantage dont jouissoit la courbe ou la surface conoïdale pendant que l'obliquité de la route étoit moindre que 45 degrés ou que 49 degrés 6 $\frac{1}{2}$ ', ou 54 degrés 44', se change ou se pervertit ensuite en désavantage; la surface reçoit plus d'impulsion dans le sens de son axe, que toutes autres courbes ou surfaces imaginables, & devient la moins propre de toutes, pour former la partie antérieure de la carène. Si au contraire l'impulsion dans la route directe, étoit un *plus grand*, elle se changeroit en un *minimum* par la même raison dans les routes très-obliques. Supposé donc qu'une surface fût destinée à n'être choquée que très-obliquement par un fluide, & qu'on voulut qu'elle ne reçût que la moindre impulsion possible selon la détermination de son axe, il faudroit nécessairement rendre plane cette surface.

Au surplus, ce sont non-seulement les impulsions que souffre la surface entière de la prouë, qui étant des *minimum* jusqu'à un certain terme, passent ensuite du moindre au plus grand; ce sont aussi les impulsions sur chaque moitié. Nous ferions voir assez aisément, s'il en étoit besoin, que ces impulsions particulières sur chaque moitié d'une prouë quelconque, ont pour *limitatrices*, non pas des lignes droites, mais des arcs d'ellipses, dont il n'est question par conséquent, pour déterminer l'obliquité qui fait la séparation du *minimum* & du *maximum*, que de découvrir les points d'intersection. Mais enfin toute surface qui éprouve la moindre impulsion, lorsqu'elle est choquée selon une certaine ligne, jouit encore de la même propriété, quoique le choc se fasse selon une direction très-différente; de sorte que le *minimum* étend toujours son regne fort loin, & il en est de même du *maximum*.

Fig. 80.

Ainsi, sans se mettre en peine des autres cas ni sans entrer dans la longue discussion qu'exige l'examen particulier des routes obliques, il suffira toujours, lorsqu'on voudra donner une figure plus parfaite à la proue, de chercher celle qui éprouve la moindre résistance dans la seule route directe. Il est certain que l'obliquité des routes ne va jamais jusqu'à 45 degrés, ou jusqu'à 54 degrés 44', pour faire perdre l'avantage qu'avoit la figure, & encore moins pour le faire changer en désavantage. J'avois déjà prouvé cette vérité à *posteriori* dans un Mémoire communiqué à l'Académie des Sciences en 1733. Lorsqu'une surface plane exactement circulaire est exposée perpendiculairement au choc d'un fluide, on connoissoit depuis long-tems la nature du conoïde dont il falloit la couvrir, pour que l'impulsion fût la moindre qu'il est possible : Mais cette solution étoit limitée aux seuls conoïdes parfaits ; & il y avoit outre cela lieu de croire qu'elle ne devoit pas être la même lorsque la direction du fluide étoit oblique. Pour éclaircir ce doute qui avoit entraîné des Géomètres fameux, j'attribuai non-seulement à la base une figure quelconque, je suposai que le cours du fluide se faisoit obliquement ; & je fus récompensé de mes recherches, en aprenant que si le conoïde *de moindre résistance* est différent pour les différentes bases, il est absolument le même, pour les routes obliques que pour celle qui se fait selon l'axe. Maintenant que nous avons démontré la même chose d'une manière directe, nous sommes encore plus en droit de nous épargner la plus grande partie de la difficulté qu'on trouve dans l'examen des diverses figures : nous n'avons à discuter leurs propriétés que pour le seul cas de la route directe.



CHAPITRE

CHAPITRE VIII.

Suite du Chapitre précédent , dans laquelle on examine les changemens particuliers que souffre l'impulsion latérale , lorsque le fluide change de direction.

I.

IL n'a point été question jusqu'à présent de l'impulsion latérale , ou de l'impulsion qui se fait dans la détermination horisontale perpendiculaire à l'axe. Nous allons nous en occuper actuellement & tâcher de découvrir d'abord la loi qu'elle suit dans ses changemens. Nous avons vu que VX (Fig. 79.) étant la direction du fluide dont l'obliquité, par rapport à l'axe de la prouë ou à la quille , est marquée par l'angle K VX , le quarré du sinus de l'obliquité de la direction du fluide par rapport à la petite partie VG de la surface de la prouë , est $\overline{RM}^2 + 2RM \times NL + \overline{NL}^2$; pendant que le quarré du sinus de l'obliquité par rapport à la partie correspondante de VG de l'autre côté de la prouë , est $\overline{RM}^2 - 2RM \times NL + \overline{NL}^2$. Nous pouvons toujours nous borner à ne considérer que ces seuls quarrés ; puis qu'en les multipliant par le quarré du sinus de l'inclinaison de chaque partie & par l'étendue de la projection sur VK ou sur un plan vertical parallèle à la quille , cette multiplication n'influerait en rien sur le rapport qu'ils suivent dans leur changement , lorsque l'obliquité de la route augmente ou diminue.

J'ôte le second quarré du premier ; parce que les impulsions latérales que souffrent les deux moitiés de la prouë étant contraires , la plus foible détruit une partie de la plus forte , & il me reste $4RM \times NL$, qui doit donc être continuellement proportionel à l'impulsion latérale que souff-

Fig. 79. frent toutes les parties de la prouë considérées deux à deux. L'impulsion latérale que souffre la prouë entière, change par conséquent dans le même rapport; c'est-à-dire qu'elle change comme le rectangle du sinus de l'obliquité de la route par son sinus de complement; puisque NL a toujours, nous le répétons, un rapport constant dans chaque petite partie de la surface de la prouë avec le sinus ML de l'obliquité de la route, & RM avec le sinus de complement VM de la même obliquité. Le sinus ML est nul, & NL l'est aussi dans la route directe; ce qui rend nul aussi-bien le rectangle $VM \times ML$, que le rectangle $4RM \times NL$; & l'impulsion latérale est aussi nulle: mais à mesure que l'obliquité de la route augmente, l'un & l'autre rectangle devient plus grand & dans le même rapport, jusqu'à ce que l'obliquité soit de 45 degrés. Alors ils sont parvenus l'un & l'autre au terme de leur *maximum*, comme il est facile de le démontrer: après cela ils diminuent. L'impulsion latérale qui suit le même rapport doit donc augmenter jusqu'au même terme, & diminuer ensuite par les mêmes degrés qu'elle avoit augmenté; & cela doit arriver généralement dans les prouës de toutes sortes de figures, aussi-tôt que le choc se fait toujours sur la même surface.

II.

Cette loi qu'observe l'impulsion latérale, lorsqu'elle change par l'obliquité de la route, étant reconnue, il est facile d'en conclure que la direction de l'impulsion totale ou absolue que souffre toute la prouë, passe continuellement par le même point de l'axe de la carène; & c'est ce qu'il est peut-être aussi important de sçavoir, que la loi-même que suit l'impulsion latérale. Si on considère deux à deux les parties correspondantes Ee, Ee (Fig. 74.) de la surface de la prouë, on sçait que les impulsions absolues auxquelles elles sont sujettes, s'exercent sur deux perpendiculaires à la surface, qui viennent se rencontrer dans le même point M de l'axe AC. On peut décomposer ces im-

pulsions dans ce point ; & les résoudre en impulsions relatives directes, & en impulsions relatives latérales. Toutes les impulsions relatives directes en conséquence de cette décomposition, se réuniront dans l'axe même AC qui leur servira de direction commune, & les impulsions latérales, celles d'un côté l'emportant sur celles de l'autre, se trouveront appliquées tout le long de l'axe sur une infinité de perpendiculaires MN. Mais qu'on y fasse maintenant attention ; le changement d'obliquité de la route, ou le changement des directions du fluide ne fera point changer les points M de place ; & en second lieu, si les impulsions latérales qui s'exercent sur les lignes MN, augmentent ou diminuent, elles le feront toutes proportionnellement, puisqu'elles changent toutes en même tems comme le rectangle du sinus de l'obliquité de la route par son sinus de complement.

Fig. 74.

Ainsi si on réunit, ou si on compose toutes ces impulsions relatives pour avoir l'impulsion latérale totale, cette dernière impulsion, quoique le Navire embrasse des routes plus ou moins obliques, ne pourra pas manquer de s'exercer toujours sur la même direction ; de s'exercer sur une ligne appliquée constamment au même point de l'axe. Car que plusieurs puissances augmentent ou diminuent, aussitôt qu'elles le font toutes proportionnellement, & qu'elles s'exercent toujours sur les mêmes directions particulières, leur direction composée ou mutuelle ne doit pas changer. Or il suit de-là que lorsqu'on composera en dernier lieu l'impulsion latérale totale, avec l'impulsion directe totale, pour avoir l'impulsion absolue ou l'impulsion formée de toutes les autres impulsions, on trouvera une direction qui passera encore par le même point ; puisqu'elle partira de l'intersection de l'axe & de la direction de l'impulsion latérale. J'avois déjà prouvé dans le Traité de la Mâtire des Vaisseaux, cette propriété qu'ont les prouës de toutes les figures ; mais la démonstration que j'en avois donnée, étoit non-seulement plus longue, elle étoit plus dépendante du calcul.

Fff ij

III.

Pour comparer maintenant les impulsions latérales aux impulsions directes, nous n'avons qu'à nous ressouvenir que ces dernières sont exprimées dans la figure 79 par $2 \times \overline{RM} \times GK + 2 \times \overline{NL} \times GK$, & que si on multiplie le rectangle $4 \times \overline{RM} \times \overline{NL}$, ou la différence des deux quarrés de SL & de fl par KV , qui est la projection de la partie GV sur le plan perpendiculaire à la direction de l'impulsion latérale, on aura $4 \times \overline{RM} \times \overline{NL} \times KV$ pour cette impulsion. Il seroit inutile, comme nous l'avons déjà dit tant de fois, de considérer l'inclinaison des deux parties correspondantes exposées au choc, lesquelles ne sont pas verticales; puisqu'en multipliant également les deux quantités $2 \times \overline{RM} \times GK + 2 \times \overline{NL} \times GK$, & $4 \times \overline{RM} \times \overline{NL} \times KV$ par le quarré du sinus de l'inclinaison, on n'en changeroit pas le rapport. Or si on compare le second terme de la première quantité avec la seconde, on verra que ces deux grandeurs sont comme $NL \times GK$ est à $2 \times \overline{RM} \times KV$: c'est-à-dire que $NL \times GK$ & $2 \times \overline{RM} \times KV$, expriment le rapport qu'il y a entre la partie de l'impulsion relative directe qui change comme le quarré du sinus de l'obliquité de la route & l'impulsion latérale. Mais le rapport demeurera le même, si on multiplie les deux termes par GV ; on aura $GV \times NL \times GK$ & $2 \times GV \times \overline{RM} \times KV$; & il ne changera point encore si on les divise par $GK \times KV$; ce qui donnera $\frac{GV \times NL}{KV}$ & $\frac{2 \times GV \times \overline{RM}}{GK}$. Ainsi la seconde partie de l'impulsion directe qui change comme le quarré du sinus de l'obliquité de la route, est à l'impulsion latérale, comme $\frac{GV \times NL}{KV}$ est à $\frac{2 \times GV \times \overline{RM}}{GK}$; & enfin si on met à la place de ces deux dernières quantités, les lignes ML & $2MV$ qui leur sont égales, on reconnoitra que la seconde partie de l'impulsion directe est à l'impulsion latérale, comme le sinus ML de l'obliquité de la route est au double du sinus

de complément MV , ou comme la tangente KX de cette Fig. 79. même obliquité est au double du sinus total KV .

La seconde partie de l'impulsion directe dont il s'agit ici, est représentée par les espaces $P_1 R_1$, $P_2 R_2$, &c. dans la figure 80: de sorte qu'il est toujours très-facile de sou- Fig. 80. mettre au calcul l'impulsion latérale, & de la déduire de l'impulsion directe. Cette dernière étant connue pour une certaine route; qu'on la connoisse, par exemple, pour la route dont l'angle ACX_2 marque l'obliquité, il n'y aura qu'à en retrancher la première partie $M_2 P_2$, qu'on trouvera par cette analogie; CA est à CM_2 , ou le carré du sinus total est au carré du sinus complément de l'obliquité de la route proposée, comme l'impulsion AO que souffre la prouë dans la route directe est à $M_2 P_2$. Cette quantité $M_2 P_2$ étant ôtée de $M_2 R_2$, on aura la seconde partie $P_2 R_2$; & il ne restera plus qu'à faire cette autre analogie: Le sinus de l'obliquité de la route proposée est au double du sinus de complément de cette même obliquité, comme $P_2 R_2$ sera à l'impulsion latérale qu'on demandoit. Lorsque l'obliquité de la route sera de 45 degrés, le sinus de cette obliquité & le sinus de son complément seront égaux. Ainsi l'impulsion latérale sera double de TS ou égale à CQ ; ce qui nous apprend cette vérité remarquable, que pendant qu'une des extrémités O de la *limitatrice* OQ des impulsions directes est éloignée de l'axe AC de la quantité AO qui exprime la première impulsion directe, l'autre extrémité Q en est éloignée de la distance CQ qui exprime la plus grande impulsion latérale. On voit donc aussi que lorsque les impulsions directes, AO , $M_1 R_1$, $M_2 R_2$, &c. que reçoit la prouë dans toutes les routes, sont égales entr'elles; elles sont aussi égales à la plus grande impulsion latérale que souffre la prouë dans la route oblique de 45 degrez.

IV.

Si on veut résumer & se mettre sous les yeux la plupart des choses que nous venons d'établir, on n'aura qu'à pren-

Fig. 80. dre n pour sinus total , s pour le sinus de l'obliquité de la route , & σ pour le sinus de complement , & nommant A la valeur de AO ou de l'impulsion selon l'axe que souffre la prouë dans la route directe , & B la valeur de CQ , ou de l'impulsion latérale que souffre la prouë dans la route oblique de 45 degrez , on aura $\frac{\sigma^2}{n^2} A$ pour la premiere partie M_1R_1 , ou M_2R_2 de l'impulsion directe , pour celle qui est proportionnelle au quarré du sinus de complement σ de l'obliquité de la route , & $\frac{s^2}{n^2} B$ pour la seconde partie P_1R_1 , ou P_2R_2 qui est proportionnelle au quarré du sinus s . L'impulsion directe entiere M_1R_1 ou M_2R_2 sera par conséquent représentée par $\frac{\sigma^2}{n^2} A + \frac{s^2}{n^2} B$; & si on fait l'analogie prescrite ci-dessus $s | 2 \sigma || \frac{s^2}{n^2} B | \frac{2s\sigma}{n^2} B$ on aura $\frac{2s\sigma}{n^2} B$ pour l'impulsion latérale. Ainsi les deux impulsions relatives , selon le sens de l'axe & selon le sens perpendiculaire à l'axe , seront exprimées d'une maniere très-simple : la premiere le sera toujours par $\frac{\sigma^2}{n^2} A + \frac{s^2}{n^2} B$; & la seconde par $\frac{2s\sigma}{n^2} B$; & cela pour les prouës de toutes les figures & pour toutes les routes.

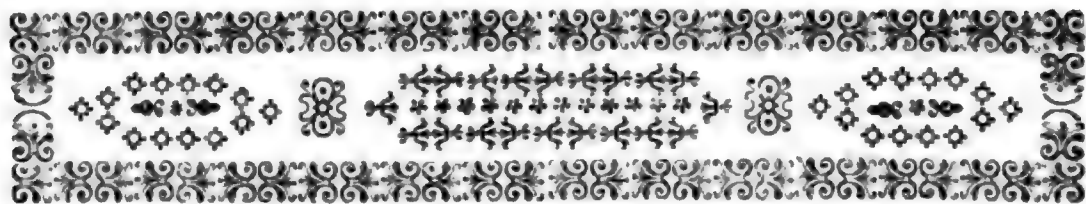
V.

Enfin nous terminerons ces remarques par une dernière observation , qui n'est pas moins considérable que les précédentes , & qui en est un Corollaire. Il est évident que puisque l'impulsion latérale pour chaque route a un rapport déterminé avec la seconde partie P_1R_1 ou P_2R_2 de l'impulsion directe ; plus cette seconde partie sera grande , plus l'impulsion latérale le sera aussi. Or la seconde partie de l'impulsion directe n'est jamais plus grande que lorsque la premiere l'est moins ; ou que lorsque l'impulsion directe AO , pour le cas où l'obliquité de la route est nulle , est un *minimum*. Car AO étant un *moindre*, CQ qui est égale

à la plus grande impulsion latérale, est un *plus grand*; & toutes les secondes parties P_1R_1 , P_2R_2 de l'impulsion directe, ou ce qui revient au même, toutes les impulsions latérales doivent se ressentir de la grandeur de CQ . Fig. 80.

Il se trouve par conséquent un double avantage à donner à la prouë la figure qui éprouve la moindre résistance de la part du milieu dans lequel elle se meut. Car cette propriété entraîne nécessairement l'autre, que l'impulsion latérale est la plus grande qu'il se peut. Ainsi le Navire singlant plus vite, dérivera le moins qu'il se pourra, non-seulement à cause de la petitesse de l'impulsion directe; mais parce que l'impulsion latérale réellement plus grande, s'oposera davantage, & le plus qu'il sera possible, à l'effort du vent qui pousse le Navire de côté & qui est la cause de sa déviation dans les routes obliques. C'est donc encore une propriété dont jouissoit sans que nous le scussions, la prouë qui éprouve la moindre résistance dans la route directe: elle éprouve non-seulement la moindre résistance dans toutes les autres routes; *elle est aussi la prouë de la moindre déviation ou de la moindre dérive*: & on conviendra sans peine que cette propriété est beaucoup plus importante que l'autre. Il arrive tous les jours que des Navires qui navigent proche de terre, ne se perdent faute de doubler un cap, ou de s'élever d'une côte où ils sont abatus, que parce qu'ils sont sujets à une trop grande dérive: au lieu que la lenteur de leur marche ne fut jamais la cause prochaine ou immédiate de leur naufrage.





SECONDE SECTION.

Où l'on tente la solution générale des principaux Problèmes de Manœuvre.

NOUS nous trouvons naturellement conduits par toutes les recherches précédentes à la partie même intérieure de la Manœuvre des Vaisseaux, que nous pourrions nous dispenser d'examiner ; mais dont nous allons résoudre les principaux Problèmes , afin de saisir l'occasion qui se présente d'éclaircir en peu de mots cette partie si difficile de la Marine. On est tenté de croire en lisant l'essai de Manœuvre du célèbre M. Bernoulli , & en voyant tous les embarras dont ce sujet épineux est environné , qu'il n'est pas possible de trouver de règles générales ou universelles qu'on puisse appliquer indistinctement à tous les Navires ; & qu'il faut pour chacun se résoudre toujours à commencer un nouvel examen & à discuter dans le plus grand détail la figure particulière de sa carène. Le Géomètre rebuté d'un travail qui n'a pas de fin , ne peut pas s'empêcher de regretter après cela la simplicité des règles de M. le Chevalier Renau ; & peu s'en faut qu'il ne les préfère , quoiqu'il soit convaincu de leur imperfection qui n'est que trop bien prouvée. Mais ce ne sera plus la même chose , aussi-tôt qu'on partira des remarques que nous venons de faire : elles nous mettront non-seulement en état de vaincre tous les obstacles qui se sont présentés jusqu'à présent , lorsqu'on a cherché des solutions générales des Problèmes dont il s'agit ; nous ne serons point obligés de négliger la considération des différentes vitesses relatives du vent qui changent par le mouvement du Navire , & qui ne sont pas moins

CHAPITRE PREMIER.

*De la vitesse que prend le Vaisseau par rapport à
celle du Vent.*

Nous commencerons par la discussion de cette première question, dont le Pilotage, la Manœuvre, & l'Architecture navale peuvent tirer de grandes utilités, & dont personne cependant ne cherchoit la solution. On suposoit tous les jours que la vitesse que recevoit le Navire étoit comme infiniment petite, ou au moins comme insensible par rapport à celle du vent; & bien loin de distinguer les cas qui exigent plus d'exactitude, on partoit continuellement de cette supposition gratuite, sans sçavoir s'il est une seule occasion où elle puisse être admise légitimement. M. d'Ons-en-Bray est le premier, à ce que je crois, qui méditant la Machine dont nous avons parlé dans le second Chapitre de l'autre Section, a senti que la chose méritoit d'être mise en délibération, & qui en a fait un sujet de question. Elle me fut proposée en 1729, lorsque j'étois au Croisic, par feu M. de Valincourt, Secrétaire Général de la Marine. Comme l'écrit qui me fut remis ne contenoit pas une proposition formelle du Problème, on pouvoit aisément se méprendre sur l'intention secrète de l'Auteur: M. d'Ons-en-Bray vouloit, à ce qu'il me parut, se réserver le plaisir de résoudre lui-même la question; il se contentoit de demander des expériences, qui ne pouvoient se faire que sur le bord de la Mer, lesquelles devoient lui servir de principes ou d'elemens. Je fis ces expériences, & je ne pouvois pas y manquer: mais je tentai en même tems une solution directe du Probleme, en employant en partie les règles exposées dans la Section précédente. C'est

418 T R A I T É D U N A V I R E ,
de cette seule solution , parce qu'elle est toute de moi ;
mais qu'il n'y avoit pas sans doute beaucoup de mérite à
imaginer , dont je vais ici rendre compte.

I.

Je considèrai un Vaisseau de 163 pieds de longueur de l'étrave à l'étambot , & de 44 pieds 9 pouces de largeur en dehors de ses membres ; & je trouvai l'étendue de la coupe verticale de sa carène faite perpendiculairement à sa quille , d'environ 691 pieds quarrés. C'est cette coupe qui recevrait le choc de l'eau pendant le sillage si la prouë n'avoit aucune saillie & si elle étoit terminée par un plan vertical : au lieu que la figure convexe est cause qu'on ne doit pas regarder ces 691 pieds comme sujets à l'impulsion de l'eau. Il est donc d'abord question de découvrir la réduction qu'il faut faire à cette surface , & c'est en cela que consiste la plus grande difficulté du Problème. Si la prouë des Vaisseaux avoit la figure qui éprouve la moindre résistance avec le même axe & la même grosseur qu'elle a ordinairement , sa saillie rendroit alors l'impulsion environ douze fois moindre , comme on peut le vérifier aisément. Nous avons vû dans le Chapitre V. de la Section précédente ; qu'un cone dont l'axe est triple du rayon de sa base , reçoit déjà une impulsion dix fois plus petite que si l'eau frapoit perpendiculairement sa base même ; & il faut remarquer que le conoïde de moindre résistance qui a les mêmes dimensions , reçoit une impulsion encore moindre d'environ une cinquième partie. Mais il s'en faut beaucoup que nos Constructeurs aient atteint cette figure dont ils sont restés extrêmement éloignés. En examinant un petit Navire du Croisic nommé *le S. Pierre* * , je trouvai que la convexité de sa prouë ne rendoit le choc de l'eau qu'environ six fois & demi plus petit que si la prouë eût été formée par un plan vertical. Ce plan mesuré avec soin étoit de 6687 pouces quarrés , & l'impulsion qu'il eût reçu eût été exprimée par 66870000 , au lieu qu'en partageant la surface de la prouë en 18 triangles qui se trou-

* Voyez
le Traité
de la Mâture
pag. 137
& suiv.

voient sensiblement de petites surfaces planes, & en cherchant les impulsions particulieres que souffrent toutes ces surfaces, l'impulsion totale étoit représentée par 10245735 qui est à très-peu près $6\frac{1}{2}$ fois moindre que 66870000. Je pensois que dans les Vaisseaux de guerre, il se faisoit encore une plus grande diminution, & qu'il falloit réduire à une neuvième partie ou à 77 pieds les 691 pieds quarrés de la coupe verticale de la carène faite perpendiculairement à la quille du Vaisseau du premier rang dont il s'agit. Mais ayant eu occasion depuis de visiter nos Ports & de reconnoître par moi-même la forme des plus grands Navires, j'ai été forcé de reconnoître que l'impulsion qu'ils souffroient n'étoit qu'environ quatre fois, ou tout au plus quatre fois & demie plus petite que si leur prouë eût été terminée par un plan vertical. Cette extrême différence qui est quelquefois encore plus grande entre la figure actuelle des plus grands Navires, & celle du conoïde qui éprouve la moindre résistance, vient de ce que la grosseur du conoïde commence à diminuer dès son origine, ou en partant de la premiere coupe qui lui sert de base; au lieu que celle qu'on donne actuellement aux Vaisseaux, se conserve dans un très-grand espace & diminue ensuite tout à coup; ce qui produit le même effet que si la prouë étoit beaucoup plus courte, ou avoit moins de saillie. Enfin l'étendue de la coupe verticale de la carène faite perpendiculairement à la quille étant de 691 pieds quarrés, on ne doit, je pense, la réduire généralement à cause de la convexité & de la saillie de la prouë, vû l'état actuel des choses, qu'à environ 150 pieds, que nous prendrons donc pour *l'exposant* ou pour *l'argument* de l'impulsion relative directe.

II.

Il faut maintenant considerer l'effort du vent sur les voiles. La surface des trois du grand mâst devoit être d'environ 10316 pieds quarrés: & comme on peut, en présentant un peu le flanc au vent, faire enforte qu'une grande partie des voiles du mâst de misaine ait part à l'impulsion,

G g g ij

sans qu'il y ait de diminution considérable par le changement de l'angle d'incidence, ni que la résistance que souffre la prouë de la part de l'eau, devienne aussi plus grande par l'obliquité de la route, on doit augmenter d'environ de moitié les 10316 pieds quarrés, & on aura 15474 pieds pour la surface totale des voiles qui *portent*, ou qui reçoivent le choc du vent. Or l'impulsion que souffrent ces 15474 pieds doit être égale, comme on l'a vu dans le premier Chapitre de l'autre Section, à l'impulsion de l'eau sur les 150 pieds quarrés de surface, auxquels se réduit la prouë. D'ailleurs ces impulsions dépendent des densités des deux fluides : car si toutes les autres choses étant égales, un fluide est deux ou trois fois plus dense, ou d'une pesanteur spécifique deux ou trois fois plus grande, son choc sera deux ou trois fois plus fort. Le mercure avec la même vitesse fait, par exemple, 14 fois plus d'impulsion que l'eau sur la même surface ; parce qu'il est 14 fois plus pesant : & l'eau par la même raison fait 576 fois plus d'impression que le vent, lorsque l'air est dans ce degré précis de condensation où l'a observé M. Mariote, qui le rend 576 fois moins pesant que l'eau. On sçait enfin que les impulsions suivent la raison doublée des vitesses, ou sont proportionnelles à leurs quarrés. Tout cela étant admis, si nous désignons la vitesse du Navire par 100, nous aurons pour l'expression du choc de l'eau sur la prouë 864000000, qui est le produit de 150 pieds quarrés par la densité de l'eau 576, & par le quarré 10000 de la vitesse du sillage. Or cette impulsion encore une fois doit être égale à celle du vent sur les voiles, ou au produit de leur étendue 15474 pieds quarrés par la densité 1 de l'air, & par le quarré de la vitesse respective du vent. Ainsi si on divise l'impulsion 864000000 de l'eau par l'étendue 15474 des voiles, & par la densité 1 de l'air, il viendra au quotient le quarré de la vitesse du vent. On trouve 55835 pour ce quarré, dont la racine est environ 236, & il ne reste plus qu'à considérer que comme ce nombre ne représente que la

vitesse respective , ou que la vitesse avec laquelle les voiles sont frappées , on doit l'augmenter de toute la vitesse particulière du Vaisseau. Il viendra donc 336 pour la vitesse totale ou absolue du vent : ce qui nous apprend que cette vitesse & celle du sillage sont sensiblement comme 336 est à 100. , ou que l'une n'est pas tout-à-fait le tiers de l'autre.

Il faut remarquer que si au lieu de supposer que l'eau est 576 fois plus pesante que l'air , on la suppose 1100 fois , on trouveroit que la vitesse du Navire est à celle du vent , non pas comme 100 est à 336 ; mais comme 100 est à 419. Nous déférerons un peu à l'une & à l'autre de ces déterminations ; parce que 576 & 1100 comparés à l'unité , sont à peu près comme les limites du rapport qu'il y a entre la densité de l'eau & celle de l'air. Mais il résulte de tout cela que les Vaisseaux les mieux construits prennent environ les deux septièmes de la vitesse du vent. Lorsque le vent devient deux ou trois fois plus rapide , son impulsion est quatre ou neuf fois plus forte ; mais le Navire singlant deux ou trois fois plus vite , la résistance de l'eau contre la prouë devient aussi quatre fois ou neuf fois plus grande , ce qui maintient l'équilibre.

III

Ce qu'on vient de dire ne convient qu'aux Vaisseaux qui singlent le mieux , & qui approchent de la figure des Frégates : car s'il s'agissoit de Flutes Hollandoises , ou des autres Bâtimens qui sont faits exprès pour porter une grande charge , la convexité de leur prouë ne seroit quelquefois gueres plus grande que celle d'un Hémisphère * , elle ne rendroit l'impulsion que deux fois ou deux fois & demie plus petite que si la prouë étoit terminée par un plan vertical. On peut chercher par le même procédé leur vitesse par rapport à celle du vent , & on verra qu'au lieu d'en être les deux septièmes comme dans les Vaisseaux qui singlent le mieux , elle n'en est qu'environ la

* Voyez le Chap. V. de la Sect. précédente art. 2. à la fin du n. 1.

cinquième partie. C'est par conséquent entre ces deux limites qui sont l'une à l'autre dans le rapport de 7 à 10 que se trouve la vitesse de la plupart de nos Vaisseaux, lorsqu'ils vont vent en poupe ou *vent large*. Nous avons besoin de mettre cette restriction : cars'ils alloient à *la bouline* ou *au plus près*, en présentant leur prouë vers le vent, & en dérivant de 20 ou 25 degrés, le rapport entre leur vitesse changeroit ; & pendant que les uns perdroient par l'obliquité de leur route la moitié de leur marche, les autres en perdroient les deux tiers, dans le tems même que la Mer seroit parfaitement calme, & qu'ils porteroient toutes leurs voiles. Ainsi les meilleurs Voiliers qui vont vent large, avec les deux septièmes de la vitesse du vent, n'avanceroient alors qu'avec environ la septième partie : & les plus mauvais Voiliers qui vont ordinairement avec la cinquième partie, n'iroient plus ensuite qu'avec la douzième ou la quinzième.

I V.

Enfin comme il ne s'agit dans tout ceci que de rapports moyens & déterminés à peu près, il ne faut pas s'attendre de pouvoir les appliquer dans la dernière rigueur à chaque Vaisseau. Il n'est pas même vrai dans l'état où est maintenant la Navigation, que la vitesse du Navire qui fait la même route, soit toujours proportionnelle à la vitesse du vent, ou en soit la même partie. Elle le seroit si la nature étoit bien disposée : au lieu que dans l'état présent des choses, lorsqu'il semble que tout doit contribuer à accélérer le mouvement du Vaisseau, lorsque le vent devient plus rapide, & qu'on donne en même tems beaucoup plus d'étendue aux voiles pour procurer encore une plus grande promptitude au sillage, il arrive souvent que la vitesse bien loin d'augmenter selon les loix assignées par les Régles de Manœuvre qu'on nous a données jusqu'à présent, devient au contraire beaucoup plus petite. C'est que lorsque l'impulsion du vent augmente beaucoup,

le Navire enfonce une plus grande partie de la prouë dans la Mer, trouve plus de résistance à fendre l'eau; & le sillage est quelquefois plus retardé par cet endroit, qu'il n'est accéléré par l'autre. Quoiqu'il en soit, on peut toujours tirer diverses conséquences de notre recherche; & il en résulte entr'autres choses, qu'on doit mettre une grande différence entre la vitesse absolue du vent & sa vitesse respective par rapport au Vaisseau; je ne dis pas pour obtenir une précision rigoureuse & parfaitement géométrique dans divers Problèmes de Marine; mais pour parvenir même à cette exactitude limitée ou approchée, dont on se contente ordinairement dans les choses de pratique. Cette considération deviendra encore plus nécessaire, lorsqu'on réformera la figure & la disposition des Vaisseaux sur les règles que nous donnons: car il y a tout lieu de croire, & on peut s'en assurer par un examen semblable à celui que nous venons de faire, qu'ils prendront quelquefois la moitié de la vitesse du vent. Pour en juger tout d'un coup avec facilité, on peut se contenter d'instituer le calcul sur une prouë conique; mais en suposant que le diamètre de sa base n'est qu'environ la cinquième partie de la longueur totale de la carène.

CHAPITRE II.

Du changement que le mouvement des surfaces produit au choc qu'elles reçoivent.

I.

CETTE attention de plus qu'il faut avoir dans les discussions de Marine qui ont rapport au mouvement du sillage considéré physiquement, les rend presque toutes beaucoup plus compliquées; & il n'est néanmoins que trop certain qu'il n'est pas permis d'éluder cette difficulté. Imaginons-nous que la surface plane DE (Fig. 81.) est transf-

Fig. 81.

Fig. 81.

portée toujours parallèlement à elle-même de C en c , ou de DE en de pendant que le fluide parcourt l'espace CG , & une infinité d'autres lignes parallèles que nous ne pouvons pas marquer : Alors l'impulsion sera diminuée considérablement ; parce que le mouvement de la surface fera comme perdre au fluide une partie de sa vitesse ; & le choc ne se fera plus qu'avec la vitesse respective. Pour trouver cette vitesse, je prolonge le plan de jusqu'à la rencontre en F de la direction VG ; l'espace CF sera la partie retranchée de la vitesse du fluide, & FG la vitesse restante : & comme les impulsions des fluides sont comme les quarrés des vitesses, le choc total sur la surface DE sera proportionnel au produit du quarré du sinus de l'angle d'incidence VCE par le quarré de la vitesse respective FG . On verra évidemment que c'est CF la partie de la vitesse que le mouvement du plan DE fait perdre au fluide, si l'on imagine que ce plan est assez grand, lorsqu'il est parvenu en de , pour s'étendre jusqu'en F , & couper la direction VCG . A l'aide de cette supposition, on se convaincra aisément que le point F du plan ne doit pas être choqué avec toute la vitesse CG du fluide, mais seulement avec la vitesse respective FG ; puisque le plan fuit de la quantité CF , & que le fluide ne peut l'atteindre qu'avec l'excès de sa vitesse. Or que le plan soit grand ou petit, c'est précisément la même chose ; tous ses points doivent être choqués avec la même vitesse FG .

II.

On peut maintenant reconnoître sans peine qu'il y a trois principaux cas à distinguer, qui naissent & de la situation de la surface, & de la direction selon laquelle la surface est transportée. 1°. Si la surface passe de DE en de , ou en $d2e2$, pendant que le fluide qui se meut selon VG , parvient de C en G ; la vitesse respective FG ou $F2G$ avec laquelle le fluide frappera la surface, sera moindre que la vitesse absolue CG . 2°. Si la surface DE se meut dans son

son propre plan, en venant il n'importe avec quelle vitesse Fig. 81.
 ΔE ou en $\Delta_2 E_2$; alors quoiqu'il semble qu'elle ait du mouvement par rapport au fluide, elle n'aura néanmoins aucun progrès réel par rapport à lui, puisqu'elle coupera sa direction VG toujours dans le même point C ; & la vitesse respective sera donc égale à l'absolue. Enfin 3°. Si la surface DE est transportée de C en x ou en x_2 , toujours parallèlement à elle-même, elle avancera effectivement vers le fluide qu'elle ira rencontrer avec la vitesse particulière $C\phi$ ou $C\phi_2$; & la vitesse respective ϕG ou $\phi_2 G$ avec laquelle se fera le choc, sera par conséquent plus grande que la vitesse absolue CG . Ces trois cas ne dépendent ni de la situation seule de la surface, ni aussi de la direction seule de son transport; mais des deux conjointement. Lorsque la surface est transportée de DE en $d_2 e_2$, il semble qu'elle avance vers le fluide, & cependant elle se refuse en partie à l'impulsion. Lorsqu'au contraire la surface est transportée de DE en $d_2 e_2$, elle semble fuir le fluide; & néanmoins elle en est choquée avec plus de force.

III.

Je ne m'arrête point ici à examiner si les trois cas précédens ne peuvent pas se subdiviser; j'évite tout détail qui n'apporte pas une nouvelle lumière. Mais je ne dois pas manquer de remarquer que si le plan qui reçoit le choc est tellement incliné par rapport à la direction du fluide, ou que si la vitesse de son transport est assez grande, pour que parvenu de DE en de toujours parallèlement à lui-même, & étant censé prolongé jusqu'à la direction VG , il la coupe dans le point même G , comme dans la figure 82, la vitesse respective FG du choc sera alors nulle. Le plan se soustraira alors à l'impulsion avec autant de promptitude que le fluide, pour ainsi dire, le poursuivra; & il traverseroit ainsi éternellement le fluide, quoiqu'obliquement, sans en recevoir jamais aucune atteinte. Il faut pour cela qu'il se meuve avec le degré précis de vitesse représenté

H h h

Fig. 82. par Cc par rapport à la vitesse absolue CG du fluide; car s'il se mouvoit un peu plus vite, le point F passeroit de l'autre côté de G , la vitesse respective GF du fluide deviendrait *negative*; & ce seroit alors la surface qui reculant trop vite, chocqueroit le fluide qui se trouveroit derrière. Mais aussitôt que le plan *de* étant prolongé, passera précisément par le point G qui termine l'espace parcouru par le fluide, il ne sera exposé à aucun choc ni d'un côté ni de l'autre. S'il ne se meut pas précisément dans le même sens que le fluide, s'il est comme retiré de côté par son transport de C en c , son transport latéral joint à sa situation oblique, suffit pour que tous les points avancent avec autant de promptitude selon la direction CG que les particules mêmes du fluide, & pour qu'ils n'en reçoivent par conséquent aucun choc.

IV.

Entre une infinité de différentes applications dont ces remarques sont susceptibles, nous nous contenterons d'en faire ici une en peu de mots, sur une matiere qui n'est pas de notre sujet, mais qui en se repliant, pour ainsi dire, s'en rapprochera. Un grand nombre de Géomètres n'ont pas dédaigné d'examiner la disposition la plus parfaite des aîles ou des volans des Moulins à vent, & ils ont trouvé que l'angle formé par l'aîle & par la direction du vent, devoit être de 54 degrés 44'. de même que celui que doit faire le gouvernail avec le prolongement de la quille, pour faire tourner le Vaisseau avec le plus de promptitude qu'il est possible. Il est vrai que si l'on rend trop grand l'angle de l'aîle avec l'axe du Moulin, on augmente l'impulsion du vent, mais que tout l'effort tend alors beaucoup plus à renverser la machine qu'à faire tourner les aîles; & que si au contraire on donne à ces mêmes aîles trop d'obliquité, il y aura une plus grande partie de l'effort du vent qui travaillera à les faire tourner; mais que comme l'effort entier ne sera que foible, la partie qui

produira l'effet qu'on demande, le fera encore beaucoup plus. Il y a donc un certain milieu ou un *maximum*, qu'on a tâché de saisir; mais faute d'avoir eu égard au changement que recevoit la vitesse respectve du vent, on a rendu l'examen trop limité pour qu'il pût être d'usage. Comme le corps du Moulin est immobile, & que les volans ne changent de place que dans le sens perpendiculaire au vent, on s'est imaginé que leur vitesse ne retranchoit rien de celle du vent; au lieu qu'elle en retranche une partie très-considérable; elle la retranche quelquefois toute: & pour dire encore plus, cette vitesse latérale des volans, est souvent telle, comme je l'ai remarqué plusieurs fois, que les aîles au lieu d'être choquées par le vent, choquent au contraire par leur extrémité qui a plus de mouvement, l'air qui est derriere, & qui ne se retire pas assez vite; ce qui fait que la voile s'enfle dans le sens contraire. Ainsi la situation qu'on a trouvé que la surface des aîles devoit avoir par raport à l'axe ou à la direction du vent, n'est bonne que pour la partie qui est tout-à-fait proche du centre, parce qu'elle n'a que peu de vitesse; au lieu que les autres parties doivent faire un plus grand angle, à mesure qu'elles sont plus éloignées de l'axe, & il faudroit qu'elles fussent tout-à-fait perpendiculaires au vent, si l'aîle étoit infiniment longue. La surface du volant doit être selon cela fort éloignée d'être plane; toutes ses parties doivent avoir différentes inclinaisons, & les trous des verges par lesquels on fait passer les especes d'échelons qui soutiennent les voiles, ne doivent donc pas être arrangés en lignes droites; ils doivent être arrangés selon une certaine spirale ou Hélice, dont ce n'est pas sans doute ici le lieu de marquer la nature; mais qui a pour asymptote une droite tirée sur la surface de la verge dans le sens précis de sa longueur.

V.

Toutes les fois qu'on regarde ces aîles de Moulin qui choquent par leurs extrémités l'air qui est derriere, on

Hhh ij

distingue aisément la partie qui est frappée par le vent, celle qui ne l'est pas, & celle qui l'est, mais dans le sens contraire. Il ne reste plus après cela, qu'à mesurer la vitesse de la partie qui n'est point frappée, cette vitesse est
 Fig. 81. représentée dans la figure 82, par l'espace Cc ; à cela près, que Cc devrait être perpendiculaire à la direction VG du vent; & connoissant d'ailleurs l'angle CGc égal à l'inclinaison VCE de l'aile par rapport à l'axe, ou à la direction du vent, on n'aura qu'à résoudre le triangle GCc rectangle en C , & le côté CG apprendra qu'elle est la vitesse réelle ou absolue du vent. On pourroit, ce me semble, sur ce principe construire aisément des Anémomètres, qui au lieu de marquer la force du vent, en feroient connoître la vitesse; & ces instrumens ne manqueroient pas d'utilité.

CHAPITRE III.

Suite du Chapitre précédent. Des changemens que le mouvement du Vaisseau apporte dans la force & dans la direction apparente du Vent.

I.

Fig. 83. & 86. P O U R appliquer au mouvement des Vaisseaux la plupart des choses que nous venons de dire, nous nous imaginerons que pendant que le vent parcourt l'espace CG (Fig. 83.) sur la direction VG , le Navire AB , dont DE est la voile, passe par le mouvement de son sillage de C en c . Il est évident par les raisons exposées ci-devant, que tous les divers points de la voile fuiront par rapport au vent, de la quantité CF , & qu'ils ne seront par conséquent frappés que par le surplus FG , dont le vent va plus vite. Le Vaisseau est cependant représenté ici lorsqu'il singe au plus près, ou à la bouline, ou lorsqu'il avance vers

l'origine même du vent. Mais quoique le Navire avance vers le vent, sa voile étant supposée prolongée jusqu'en F, coupe successivement à cause de sa situation, la direction VG dans des points F, dont le progrès se fait dans le même sens que celui des particules d'air, & elle se soustrait d'autant à l'impulsion; pendant que diverses parties du Vaisseau & qu'une voile disposée d'une autre manière, pourront être choquées avec plus de vitesse. Supposé donc que le vent parcoure l'espace CG de 50 pieds par secondes, & fasse sur un pied quarré de surface une force de 6 livres; des voiles de 15474 pieds d'étendue, comme celles que nous avons considérées dans le premier Chapitre, étant frappées perpendiculairement, recevraient une impulsion de 92844 livres. Mais si l'angle d'incidence VCE est d'environ $19\frac{1}{2}$ degrés, dont le sinus est le tiers du sinus total, l'impulsion sera diminuée neuf fois par ce seul endroit; & si la vitesse respective FG n'est que de 25 pieds, moitié de la vitesse absolue CG, l'impulsion sera encore diminuée quatre fois, & sera par conséquent 36 fois moindre, ou seulement de $3863\frac{1}{2}$ livres. Or cette impulsion est à la première 92844, comme le produit du quarré du sinus de $19\frac{1}{2}$ degrez par le quarré de la vitesse relative 25 pieds, est au produit du quarré du sinus total par le quarré de la vitesse absolue 50.

Fig. 83.
& 86.

II.

On peut toujours faire entrer de cette sorte la consideration des vitesses respectives du vent dans toutes les Recherches où la vitesse absolue est *donnée*. Mais comment connoître en Mer la vitesse respective FG; comment découvrir la vitesse absolue CG, pendant que le Vaisseau est en mouvement? Nous ne faisons pas encore sentir toute la difficulté; car il n'y a pas jusqu'à la direction du vent qui ne soit altérée par le mouvement du Vaisseau. Nous avons montré que si la surface *de* qui reçoit l'impulsion, étoit encore située plus obliquement, & que sa

Fig. 83. prolongation cF coupât la direction VCG du vent, non pas dans le point F , mais dans le point G , la vitesse respective du vent seroit alors réduite à rien, & qu'il n'y auroit plus d'impulsion. Il suit de-là que les *giroüetes*, les *flammes* & tous les autres instrumens dont on se sert en Mer pour découvrir la direction du vent, ou ne l'indiquent pas, ou ne l'indiquent que quand le Navire est dans un parfait repos, ou que lorsqu'il singe parfaitement vent en poupe. Au lieu de se placer parallèlement à la vraie direction VG , ces instrumens se placent sur cG en se tournant vers le point G , qui termine l'espace CG parcouru par le vent, & induisent à une erreur égale à l'angle CGc . Les particules d'air qui étoient en C avec le Vaisseau, parviennent en G , en même tems que le Vaisseau arrive en c . Elles s'éloignent effectivement du Navire de la quantité cG ; c'est selon cG qu'elles s'en éloignent, & par conséquent cG marque leur vitesse respective par rapport au Navire; & c'est aussi selon cette même ligne que les pavillons & les flâmes doivent se situer pour ne point recevoir d'impulsion.

L'angle CGc dont on est sujet à se tromper, peut se trouver de 18 ou 20 degrez; dans le tems même que les courans ne contribuent point à l'augmenter en jettant le Navire de côté. Cet angle deviendra plus grand, lorsque le sillage sera plus rapide, & si le Vaisseau marchoit sur *l'autre bord*, l'erreur seroit de la même quantité de l'autre côté; de sorte que la direction du vent peut paroître changer de 36 ou 40 degrez, ou de la neuvième ou dixième partie du tour de l'Horison, quoiqu'elle soit constamment la même, & que tout le changement ne soit qu'apparent. Je ne met ce changement total à 36 ou 40 degrez, que parce que je ne considere les choses que dans l'état actuel où elles sont: car si on employoit les moyens que nous indiquerons pour rendre la vitesse du Navire beaucoup plus grande, le même changement pourroit aller extrêmement plus loin. Il ne seroit pas même impossible qu'un vent d'Orient parût venir presque du Nord; & presque

ensuite du Sud, lorsqu'on change de route. Le vent en un mot doit sembler prendre une autre direction toutes les fois que le Navire fait un autre chemin, ou qu'on fait changer sensiblement sa vitesse, par l'addition ou le retranchement de quelques voiles dans les routes obliques. Le Marin est trompé ici par le mouvement du Vaisseau précisément de la même manière que l'est le Sectateur de Ptolomée par le mouvement de la Terre. Comme il faut toujours quelque tems pour embrasser une nouvelle route, ou pour orienter les voiles, on s'imagine que c'est le vent qu'on accuse encore d'une plus grande inconstance que celle qu'il a effectivement, qui a changé dans cet intervalle; & c'est ce qui est cause qu'on a navigé jusqu'à présent, sans rien soupçonner de cette particularité du mouvement du sillage.

Fig. 83.

Mais ce qui est tout-à-fait heureux, & ce qui peut passer pour une espèce de paradoxe, c'est que pendant que nous sommes en Mer, & que tout contribue à nous tromper; pendant que nous jettons inutilement la vûe autour de nous, pour trouver quelque chose de fixe; pendant que tout nous paroît se mouvoir, & que nous ne pouvons pas démêler le réel de l'apparent, pendant enfin que nous ignorons & la vitesse absolue du vent, & la direction même selon laquelle il se meut; nous n'avons qu'à mesurer l'angle apparent d'incidence & la vitesse apparente du vent, & nous serons en état de découvrir la vraie impulsion que souffrent les voiles, comme si tous ces élémens n'étoient pas altérés. L'angle d'incidence apparent ou relatif sera l'angle FcG formée par la voile & par la direction apparente cG du vent; pendant que cG sera la vitesse apparente du vent, sa vitesse relative par rapport au corps du Vaisseau, ou celle qu'on trouveroit, si on jettoit au vent des duvets ou des flocons de laine. Cette vitesse relative cG qu'à le vent par rapport au Navire, est comme on le voit bien différente de celle FG qu'il a par rapport à la voile; parce que celle-ci est dépendante de la situation particulière de la voile. Mais le produit du carré du sinus

Fig. 83. de l'angle d'incidence apparent FcG par le quarré de la vitesse apparente cG , sera toujours précisément égal au produit du quarré du sinus du premier angle d'incidence VCE par le quarré de la premiere vitesse respective FG , de celle qui est respective par raport à la voile; second produit qui exprime, ainsi que nous l'avons vû, la grandeur de l'impulsion.

Il suffit, pour s'assurer de l'égalité parfaite de ces deux produits, de considerer que dans le triangle GFc , le sinus de l'angle F qui est égal à l'angle VCE , est à cG , comme le sinus de l'angle FcG est à FG ; car il suit de-là que le produit ou le rectangle du sinus de l'angle F , ou de l'angle VCE par FG , est égal au produit du sinus de l'angle FcG par cG ; & ces deux produits étant égaux, leurs quarrés le seront également.

Ainsi nous avons deux différentes expressions de l'effort du vent sur la voile, & chacune aura son utilité. La premiere, dont il est, ce me semble, plus naturel de se servir dans les spéculations de Manœuvre, consiste à multiplier le quarré du sinus de l'angle VCE par le quarré de FG ; le quarré du sinus de l'angle vrai d'incidence par le quarré de la vitesse respective du vent, non pas eu égard au Vaisseau, mais eu égard à la voile. La seconde expression qui me paroît préférable, lorsqu'il s'agit effectivement de pratique & qu'on est en Mer, c'est de prendre le produit du quarré du sinus de l'angle d'incidence apparent FcG par le quarré de la vitesse apparente cG du vent. Ces deux expressions sont parfaitement équivalentes; & si elles n'apprennent pas la quantité absolue de l'effort, comme on peut l'apprendre par l'Anémometre, elles nous marqueront au moins toujours le raport selon lequel ces efforts changent.

III.

Les flammes & les giroüetes ne donnent, lorsqu'on est à terre, que très-imparfaitement la direction du vent; de même

même qu'en Mer elles ne donnent qu'imparfaitement la direction apparente ou relative. Je ne sçache rien qui indique mieux cette direction que ces instrumens de papier ou de toile , qui étant attachés à une longue ficelle , se soutiennent en l'air par le choc du vent , & servent de jeu aux enfans , en même tems qu'ils peuvent être un sujet de méditation pour les Mécaniciens. Ces instrumens en Mer ne montreroient encore par la situation de la ficelle qui les retient , que la direction relative du vent , mais avec précision ; & les remarques précédentes mettroient en état de découvrir la direction réelle ou absolue qu'il est utile & quelquefois nécessaire de connoître , quand ce ne seroit que pour réduire en pratique les différentes règles de Manœuvre que nous sçavons. Dans le triangle obliqu'angle CcG , l'angle CcG que forme la route Cc avec la direction apparente cG est toujours donné. On aura de plus par les règles du Pilotage , le côté Cc qui est la vitesse actuelle du Vaisseau ; & il ne sera pas difficile de mesurer la vitesse apparente cG du vent , ou de la conclure de l'impulsion que recevra une surface d'une étendue connue. Résolvant le triangle , on découvrira l'angle requis G , qui sera la quantité dont il faudra corriger la direction apparente cG , indiquée par les pavillons & les giroüetes, pour avoir la vraie direction VG . Dans les cas où il ne sera pas besoin d'une la grande précision , on pourra résoudre le triangle CGc à vûe d'œil , en se contentant de suposer que la vitesse absolue CG du vent est trois ou quatre fois plus grande que celles Cc du Vaisseau , selon la diverse obliquité de la route.

Fig. 11.

Il est à propos de bien remarquer qu'on se trompe toujours dans le même sens , lorsqu'on prend la direction apparente du vent pour la direction réelle. On croit toujours que le vent est plus voisin de la prouë qu'il ne l'est effectivement. Ainsi lorsqu'on singe au plus près ou à la bouline , on ne pince jamais tant le vent qu'il paroît qu'on le fait , à en juger par les giroüetes ou par les flammes. J'ai même reconnu quelquefois qu'on ne gaignoit du tout point, lors-

434 T R A I T É D U N A V I R E ,
 qu'on pensoit faire des *bordées* très-avantageuses. On s'ima-
 ginoit avancer vers l'origine du vent : mais on ne faisoit
 effectivement de part & d'autre que des routes ou des bor-
 dées perpendiculaires à sa direction réelle.

C H A P I T R E I V.

*De la relation qu'il y a entre la dérive des Vaisseaux
 & la situation de leurs Voiles*

I.

* Voyez
 l'art. 4. du
 dernier
 chapitre.

N O U S avons vû dans la Section précédente * que l'im-
 pulsion directe de l'eau sur laprouë entiere , est tou-
 jours représentée par $\frac{v^2}{n^2} A + \frac{s^2}{n^2} B$, pendant que l'impulsion
 latérale , dans le sens perpendiculaire à l'axe , l'est par
 $\frac{2sv}{n^2} B$; quelque soit l'obliquité de la route , ou la direction
 selon laquelle se fait le choc. A designe , comme on le
 sçait , l'impulsion selon l'axe pour la route directe , ou pour
 le cas où il n'y a point de dérive; B la plus grande impul-
 sion latérale que souffre la prouë dans les routes obliques
 de 45 degrés, & s marque le sinus de l'obliquité de cha-
 que route particuliere ou de l'angle de la dérive , & σ son
 sinus de complement, pendant que n indique le sinus to-
 tal. Ces impulsions particulieres A & B servent à former
 les impulsions directes $\frac{v^2}{n^2} A + \frac{s^2}{n^2} B$ & latérales $\frac{2sv}{n^2} B$ pour
 tous les autres cas : & si pour composer ces deux forces on
 prend dans le sens de la quille depuis C jusqu'en K (Fig.
 84.) l'espace CK pour représenter la premiere ou l'impul-
 sion directe, & sur la perpendiculaire CL l'espace CL pour
 représenter la seconde force ou l'impulsion relative selon
 le sens latéral, & que nous achevions le rectangle KCLM ,
 sa diagonale CM nous marquera la quantité & la direc-

Fig. 84.

tion de l'impulsion entiere selon le sens horizontal. C'est à Fig. 84.
cette ligne qu'il faut que la voile DE soit perpendiculaire ;
afin que les efforts du vent selon CF, & de l'eau selon CM,
puissent , comme nous l'avons expliqué dans le premier
Chapitre de la Section précédente , se détruire mutuelle-
ment , quant au sens horizontal , & le Vaisseau avancer
d'un mouvement parfaitement uniforme.

Mais la voile DE étant perpendiculaire à la direction CM
du choc absolu de l'eau , si on prend CO pour représen-
ter le sinus total (n) & qu'on lui tire dans le plan de l'ho-
rison la perpendiculaire EN , cette ligne coupera la voile
ou son prolongement dans le point N ; nous aurons OH
pour la tangente de l'obliquité de la route ou de l'angle
OCH de la dérive , tangente que nous désignerons par
 m ; & nous aurons en même tems ON que nous nomme-
rons t , pour la tangente de l'angle OCN que fait la voile
avec la quille. Cela supposé , nous considérerons que le
triangle rectangle CON est semblable au triangle MKC ,
& que nous pourrons faire cette analogie : l'impulsion la-
térale de l'eau CL ou KM qui est égale à $\frac{23}{n^2} B$, est à l'im-
pulsion directe CK $= \frac{A}{n^2} + \frac{23}{n^2} B$, comme le sinus total
CO $= n$ est à la tangente ON (t) de l'angle que fait la voi-
le avec la quille ; & nous aurons l'équation $t = \frac{n^2 A}{23 B}$
 $+ \frac{23}{n^2}$ qui se réduit à $t = \frac{n^2 A}{23 m B} + \frac{1}{2} m$, lorsqu'on substitue à
la place du rapport $\frac{1}{2}$ du sinus de l'angle de la dérive & de
son sinus de complement , le rapport $\frac{m}{n}$ qui lui est égal , de
la tangente du même angle & du sinus total. Or nous
aurons de cette sorte une expression très-simple &
très-générale de la relation qu'il y a pour les prouës de
toutes les figures , entre la tangente t de l'angle que fait la
voile avec la quille & la tangente m de l'obliquité de la
route. Il est vrai qu'il reste à connoître ou les quantités
même A & B , ou au moins leur rapport $\frac{A}{B}$. On peut les

Fig. 84. découvrir assez aisément par l'examen de la figure de la prouë, comme on l'a vû dans le Chapitre VI. de la Section précédente. Mais il sera plus commode de se borner à en connoître le seul raport, & de consulter pour cela l'expérience, en cherchant une seule fois pour toutes, la quantité de la dérive pour une certaine disposition de voiles, comme le faisoit M. Renau.

I I.

Il n'y a en effet, lorsqu'on navige proche de Terre, qu'à remarquer le point de la côte qui paroît toujours au même rumb de vent, pendant que tous les autres points en changent sans cesse, à mesure qu'on avance; & on aura la vraie direction que suit le Vaisseau. Cette direction sera différente de la quille, si les voiles sont orientées obliquement par raport à la longueur du Navire, & la quantité de la dérive sera connue pour la disposition actuelle des voiles. On pourra découvrir cette même quantité de la dérive de plusieurs autres manieres. Les Marins se contentent, par exemple, presque toujours de prendre pour la vraie route du Navire la trace qu'il laisse derriere lui dans l'eau, & ils mesurent avec une Bouffole ou avec quelqu'autre instrument, l'angle que fait cette trace avec la quille. Or suposons que c soit la tangente de cet angle de dérive actuellement mesuré, & b la tangente de l'angle que fait la voile avec la quille; mettant c & b à la place de m & de t dans l'équation générale $t = \frac{n^2 A}{2mB} + \frac{1}{2} m$, nous la changerons en $b = \frac{n^2 A}{2cB} + \frac{1}{2} c$, qui nous fournit $\frac{A}{B} = \frac{2bc - c^2}{n^2}$, & nous fait connoître le raport $\frac{A}{B}$ dont nous avons besoin. Substituant ensuite sa valeur dans l'équation générale, on aura la formule $t = \frac{2bc - c^2}{2m} + \frac{1}{2} m$ par le moyen de laquelle on pourra trouver toujours aisément la disposition que doit avoir la voile pour tous les autres angles de dérive. On peut avec la même facilité résoudre

le Problème inverse : c'est-à-dire , trouver la quantité de la dérive , lorsque la disposition de la voile est donnée. Il n'y a pour cela qu'à traiter m comme inconnue dans l'équation $t = \frac{2bc - c^2}{2m} + \frac{1}{2} m$, & on en déduira la formule

$m = t \pm \sqrt{t^2 + c^2 - 2bc}$. Ainsi on voit que la chose est presque ramenée à cette première simplicité où M. Renau n'avoit cru la mettre , que parce qu'il se trompoit.

Si pendant que la voile fait avec la quille un angle de 60 degrés , on trouve que la dérive est de 4 degrés , il n'y aura qu'à mettre continuellement dans notre formule les tangentes de 4 & de 60 degrés , à la place de c & de b ; & faisant ensuite la tangente t de l'angle de la voile & de la quille de quelle grandeur on voudra , on trouvera la dérive qui y convient. C'est de cette façon qu'on a calculé la table suivante ; & on y a mis différentes colonnes de dérive , afin de pouvoir l'étendre à toutes les diverses figures que pourra avoir la proue. Supposé que la dérive au lieu de se trouver de 4 degrés se trouve de 8 degrés 46' lorsque la voile fait un angle de 60 degrés avec la quille , ce ne fera pas la seconde colonne , mais la quatrième qui conviendra au Navire dont il s'agit. On pourra même , lorsque les Vaisseaux s'inclinent considérablement , ou toutes les fois que l'eau ne frapera pas sur les mêmes parties de la carène , examiner la dérive dans chacun de ces états , & voir la colonne qu'il faut choisir pour la mieux représenter.

TABLE GÉNÉRALE

Des angles de dérive des divers Vaisseaux, pour tous les divers angles que fait la Voile avec la Quille.

Angles de la Voile & de la quille.	Dérives.	Dérives.	Dérives.	Dérives.	Dérives.	Dérives.
D.	D. M.	D. M.	D. M.	D. M.	D. M.	D. M.
90	0. 0	0. 0	0. 0	0. 0	0. 0	0. 0
80	1. 12	1. 49	2. 35	3. 2	3. 36	3. 48
75	1. 51	2. 47	3. 57	4. 39	5. 30	5. 49
70	2. 30	3. 48	5. 24	6. 22	7. 33	7. 59
68	2. 47	4. 13	6. 1	7. 5	8. 21	8. 54
66	3. 4	4. 30	6. 39	7. 50	9. 16	9. 52
64	3. 22	5. 8	7. 20	8. 38	10. 14	10. 52
62	3. 40	5. 34	8. 2	9. 29	11. 16	11. 56
60	4. 0	6. 7	8. 46	10. 22	12. 21	13. 4
58	4. 21	6. 40	9. 33	11. 19	13. 29	14. 17
56	4. 43	7. 14	10. 23	12. 20	14. 42	15. 35
54	5. 7	7. 51	11. 18	13. 27	16. 5	17. 5
52	5. 32	8. 30	12. 17	14. 38	17. 34	18. 39
50	5. 57	9. 13	13. 22	15. 58	19. 14	20. 28
49	5. 11	9. 35	13. 56	16. 40	20. 9
48	6. 25	10. 59	14. 33	17. 27		
47	6. 40	10. 25	15. 13	18. 18		
46	6. 56	10. 52	15. 56	19. 13		
45	7. 13	11. 19	16. 42		
44	7. 31	11. 49	17. 30		
43	7. 50	12. 21	18. 23			
42	8. 10	12. 55			
41	8. 30	13. 31			
40	8. 51	14. 10			
39	9. 14	14. 54			
38	9. 40	15. 41				
37	10. 8	16. 33				
36	10. 38				
35	11. 9				
34	11. 44				
33	12. 28					
32	13. 8					
31	13. 59					
30	14. 58					

III.

Nous pouvons exprimer aussi très-aisément par le moyen d'une figure la relation des deux angles dont il s'agit. Il y a même rapport de CO à OF ou de CT à TP, lorsque TP est parallèle à OF, que de l'impulsion directe $CK = \frac{\sigma^2}{n^2} A + \frac{s^2}{n^2} B$ à l'impulsion latérale CL ou $KM = \frac{2s\sigma}{n^2} B$; ou que de $\frac{\sigma}{2s} A + \frac{s}{2\sigma} B$ à B, qui sont les deux impulsions divisées également par $2s\sigma$ & multipliées par n^2 ; ou que de $\frac{n}{2m} A + \frac{m}{2n} B$ à B (en mettant à la place de $\frac{\sigma}{s}$ la quantité $\frac{n}{m}$ qui lui est égale,) ou qu'enfin de $\frac{nA}{2B} + \frac{m^2}{2n}$ à m (en multipliant de part & d'autre par m & en divisant par B.) Mais puisque CT est à TP comme $\frac{nA}{2B} + \frac{m^2}{2n}$ est à m , il est évident que si nous conduisons jusqu'à CF la parallèle HP à la quille, afin de faire PT égale à $OH = m$, la partie CT de l'axe CO sera égale à $\frac{nA}{2B} + \frac{m^2}{2n}$; ce qui montre que cette partie CT est formée de deux portions, dont l'une CQ exprimée par $\frac{nA}{2B}$, est constante dans toutes les routes, & l'autre QT exprimée par $\frac{m^2}{2n}$ est variable & proportionnelle au carré de la tangente m de la dérive: & elle est par conséquent égale aux abscisses QT d'une parabole SQPR dont $2n$ ou le double de CO est le paramètre, & dont les ordonnées TP sont égales aux tangentes correspondantes OH des angles de dérive. Aussi-tôt donc qu'on aura trouvé par l'expérience dont nous avons parlé, l'angle de la dérive HCO pour une certaine disposition de voile DE, il n'y aura qu'à conduire de l'extrémité H de la tangente de cet angle une parallèle HP à la quille jusqu'à la rencontre de la perpendiculaire CF à la voile, & on aura le point P par lequel doit passer la parabole SPR dont CO est l'axe & qui doit avoir le double de CO pour paramètre. On peut sans doute se dispenser d'avertir que pour trouver le sommet Q de

Fig. 84. cette ligne courbe, il n'y a qu'à faire l'espace TQ égal à une troisième proportionnelle au double de CO & à TP . Enfin la parabole SPR étant tracée, elle servira pour toutes les routes & pour toutes les dispositions de voile : & tous les points correspondants P & H ou p & h dans lesquels les perpendiculaires CF à la voile couperont la parabole, & dans lesquels les routes CH couperont la droite NF seront toujours situés sur des parallèles PH à l'axe CO . Il est vrai que la parabole RQS ne convient qu'à un seul Navire pour toutes les routes : mais rien n'empêche de tracer plusieurs autres paraboles égales & asymptotiques ; ce qui rendra la figure 84 universelle.

CHAPITRE V.

Des différentes vitesses que prend le Vaisseau dans les routes obliques.

I.

L'Opération, sans être beaucoup plus difficile, sera seulement plus longue, lorsqu'on voudra trouver la relation qu'ont entr'elles les diverses vitesses avec lesquelles singe le Navire. Il est évident que si l'ordonnée PT de la parabole SQR (Fig. 84.) au lieu d'être égale à $OH = m$, étoit égale à l'impulsion latérale $\frac{2v}{n^2} B$ que souffre la prouë, la ligne CP représenteroit l'impulsion absolue ; puisqu'il y a même rapport de TP à CP que de KM ou CL à CM . Mais il n'y a du point O qu'à abaisser la perpendiculaire OX sur la route CH ; cette perpendiculaire sera le sinus que nous avons indiqué par s , de l'obliquité de la route, & CX sera le sinus(σ) de complément : & si du point X on abaisse la perpendiculaire XZ sur la quille prolongée ; cette perpendiculaire sera égale à $\frac{r}{n}$ ($= \frac{XO \times CX}{CO}$;)
 puisqu'on

puisque'on aura cette analogie ; $CO = n \mid CX = \sigma \mid XO = s \mid XZ = \frac{\sigma}{n}$. Ainsi si cette seconde perpendiculaire XZ

Fig. 85.

n'est pas égale à l'impulsion latérale $\frac{2\sigma}{n^2} B$, elle lui fera au moins toujours proportionnelle, & pourra la représenter : & il suffit donc de conduire du point X une parallèle XY jusqu'à la rencontre Y de la direction CF de l'effort de la voile ; & la partie retranchée CY de cette direction représentera l'impulsion absolue de l'eau.

Si on fait la même chose pour toutes les autres routes, on aura une infinité de points Y qui formeront une courbe VQv, laquelle sera la *limitatrice* de toutes les impulsions absolues CY que souffre la prouë entière dans le sens de l'horison. Cette courbe, comme il est assez facile de le prouver, est une ellipse dont le grand axe Vv est égal à CO moitié du parametre de la parabole ; & son second axe Qv est terminé entre le sommet Q de la parabole, & le point v qui divise CO par la moitié.

Cette ellipse se réduit à une seule ligne droite, lorsque l'axe Qv se réduit à rien, ou lorsque le sommet Q de la parabole, est exactement au milieu de CO ; & c'est ce qui arrive lorsque la prouë a cette propriété particulière, dont nous avons parlé ci-devant, de recevoir de la part de l'eau toujours la même impulsion selon son axe, quelque soit la route qu'elle suive. Nous avons spécifié ci-devant les circonstances qui conferent cette propriété à la prouë : & alors les impulsions absolues sont comme les secantes des angles FCO que fait la perpendiculaire à la voile avec la quille. Un autre cas qui mérite quelque attention, quoiqu'il fasse un cas extrême, seulement possible géométriquement, c'est lorsque la prouë est infiniment aigue, & que l'impulsion, selon le sens de l'axe, est nulle dans la route directe ; alors le point Q tombe en C, & le grand axe Vv de l'ellipse est exactement double du petit axe. Après tout les impulsions absolues ne sont représentées par CY que dans la supposition que la vitesse du Na-

Kkk

Fig. 34. vire est la même : & si on veut avoir égard aux diverses promptitudes du sillage , & qu'on en désigne la vitesse par v , il faut multiplier CY par v^2 , puisque toutes les autres circonstances étant les mêmes , les impulsions changent comme les quarrés des vitesses. Tout considéré , la résistance absolue de l'eau contre la proue , sera donc exprimée par $v^2 \times CY$, & c'est cette résistance qui doit être égale à l'effort que fait le vent sur les voiles dans le sens directement contraire.

I I.

Si nous désignons par a la vitesse absolue du vent , par p le sinus de l'angle d'incidence que fait la vraie direction avec la voile , & par q le sinus de l'angle de la voile avec la route ; nous aurons $\frac{qv}{p}$ pour la partie de la vitesse que le vent perd par le mouvement ou par la fuite du Vaisseau ; & $a - \frac{qv}{p}$ pour la vitesse respective du vent. C'est ce qu'on voit avec évidence , en jettant les yeux sur la Figure 83 , & en se rapellant ce que nous avons dit au Chapitre III. La vitesse absolue a du vent est représentée par l'espace CG ; mais le Vaisseau en parcourant l'espace Cc qui représente sa vitesse particulière , sa voile fuit le vent de la quantité CF , & pour trouver cette quantité , il n'y a qu'à faire cette analogie ; le sinus p de l'angle F égal à l'angle d'incidence ECV est à la vitesse $Cc = v$ du Navire , comme le sinus q de l'angle ECc ou CcF que fait la voile avec la route , est au côté $CF = \frac{qv}{p}$; & si on retranche CF de CG , on aura $a - \frac{qv}{p}$ pour la vitesse respective du vent. Mais les impulsions des fluides étant comme les produits du quarré de leur vitesse par le quarré du sinus de leur angle d'incidence , multipliés par l'étendue de la surface & par la densité du fluide ; si nous prenons E pour représenter , non pas seulement l'étendue de la voile , mais cette étendue appliquée à la densité de l'air , nous aurons

$a - \frac{qv}{p} \times \frac{p^2}{n^2} E$ pour l'effort absolu du vent sur les voiles.

Fig. 84.

Nous multiplions l'étendue E , non-seulement par le carré de la vitesse respective du vent, mais aussi par $\frac{p^2}{n^2}$ qui est proportionnel au carré du sinus p de l'angle d'incidence, parce que cet effort dépend de toutes ces quantités : & comme il doit être égal à la résistance de l'eau contre la proue, nous avons l'équation $v^2 \times CY =$

$a - \frac{qv}{p} \times \frac{p^2}{n^2} E$, dont on tire $v\sqrt{CY} = a - \frac{qv}{p} \times \frac{p}{n} \sqrt{E}$, ou $nv\sqrt{CY} = ap - qv\sqrt{E}$ & $v = \frac{ap\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$. De sorte que

nous avons pour toutes les routes la vitesse du Navire exprimée en grandeurs connues ou en grandeurs que nous pouvons toujours connoître avec facilité.

III.

Il est effectivement très-aisé de découvrir par une seule expérience & indépendamment des autres moyens que nous avons déjà donnés, la relation de CY (Fig. 84.) & de l'étendue E des voiles. L'expression générale $v = \frac{ap\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$

des vitesses du Navire, se réduit à $v = \frac{a\sqrt{E}}{\sqrt{CQ} + \sqrt{E}}$ dans le cas de la route directe, lorsque CY devient CQ , & que le sinus p de l'angle d'incidence du vent est égal au sinus total n , de même que le sinus q de l'angle que fait la voile avec la route. Mais de $v = \frac{a\sqrt{E}}{\sqrt{CQ} + \sqrt{E}}$, on en déduit

$v\sqrt{CQ} = a\sqrt{E} - v\sqrt{E}$, & l'analogie $a - v || v || \sqrt{CQ} || \sqrt{E}$. Ainsi il n'y a qu'à chercher une seule fois dans la route directe la vitesse respective $a - v$ du vent par rapport au Vaisseau ; en laissant aller au vent quelques duvers ou quelques autres corps très-legers, & en mesurant l'espace qu'ils parcourent dans le Vaisseau dans un certain tems. Si on met après cela cette vitesse respective $a - v$ au premier terme d'une proportion dont la vitesse même v du Vais-

Kkk ij

Fig. 84. seau sera le second qu'on connoitra par les moyens que fournit le Pilotage , il ne restera plus qu'à mettre la racine quarrée de CQ au troisiéme terme , & on aura au quatriéme la racine quarrée de l'étendue E qu'il faudra introduire dans la formule générale $v = \frac{ap\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$. Suposé que k exprime combien de fois la vitesse absolüe du vent est plus grande que celle que reçoit le Navire dans la route directe , on aura $\sqrt{E} = \frac{1}{k-1} \sqrt{CQ}$, & $v = \frac{ap\sqrt{CQ}}{k-1 \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$, qui se réduira à $v = \frac{ap\sqrt{CQ}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$ lorsque la vitesse absolüe du vent sera triple de celle du Navire dans la route directe ; à $v = \frac{ap\sqrt{CQ}}{3n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$ lorsque la vitesse absolüe du vent sera quadruple , &c. Expressions qui sont toutes extrêmement simples , & qui ne contiennent que des grandeurs que la figure nous offre pour ainsi dire.

I V.

Nous croyons devoir insister un peu sur la formule générale $v = \frac{ap\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$, pour faire remarquer que généralement parlant, il s'en faut beaucoup que les vitesses du navire soient proportionelles , comme on se l'imagine ordinairement, aux racines quarrées \sqrt{E} de l'étendue des voiles ; lorsque toutes les autres circonstances sont les mêmes. Le P. Fournier croyoit qu'elles étoient proportionelles aux étendues mêmes ; de sorte que quatre fois plus de surface de voile devoit faire marcher le vaisseau quatre fois plus vite. Je suis extrêmement étonné, je l'avouë, que l'expérience ne fit pas sentir à cet Auteur qui passoit une partie de sa vie sur Mer , combien il se trompoit. Les Mathématiciens qui sont venus depuis & qui ont examiné la chose avec plus de soin , ont pensé que les vitesses du sillage n'étoient que comme les racines quarrées des surfaces des voiles ; de sorte qu'ils ont prétendu que quatre fois plus de surface , au lieu de faire singler le Navire quatre fois plus

vite, ne lui procuroit que deux fois plus de vitesse. C'est Fig. 84. ce qui approche beaucoup plus d'être vrai; mais ce qui ne l'est cependant encore, que lorsqu'on suppose la vitesse du vent infinie par rapport à celle du sillage. Lorsqu'on admet cette supposition & que le Navire marche deux fois plus vite, il éprouve quatre fois plus de résistance de la part de l'eau; cette résistance est comme le quarré de la vitesse, & pour la vaincre il suffit de faire les voiles quatre fois plus grandes.

Mais que la vitesse du sillage soit comparable à celle du vent, comme elle l'est en effet, ce n'est plus la même chose: il ne suffit pas de donner aux voiles quatre fois plus de surface; parce qu'outre la grandeur qu'il faut leur donner pour vaincre la résistance, il faut leur en donner encore pour réparer la diminution que souffre l'impulsion du vent par la fuite plus rapide du Navire. Supposé qu'un Vaisseau prenne le tiers de la vitesse du vent & qu'il s'agisse ensuite de le faire aller deux fois plus vite ou de lui faire recevoir les 2 tiers de la vitesse du vent; il faut d'abord rendre sa voile quatre fois plus grande, puisque le Navire trouvera quatre fois plus de résistance de la part de l'eau; mais la vitesse respective du vent étant ensuite deux fois moindre, & son impulsion particulière quatre fois plus petite, il faudra encore augmenter l'étendue des voiles quatre fois. Ainsi il faudra leur donner non pas simplement quatre fois, mais seize fois plus de surface, pour faire doubler le sillage. En un mot, *lorsqu'on veut faire croître la vitesse de la marche dans un certain rapport, il ne suffit pas d'augmenter l'étendue des voiles selon le quarré de ce rapport, il faut encore toujours l'augmenter en même raison que le quarré de la vitesse respective du vent se trouve plus petite.* On voit après cela combien les maximes ordinaires de manœuvre sont défectueuses au moins à cet-égard: & on peut remarquer aussi que s'il a été facile par une disposition même grossière de toutes les parties du Navire de donner au sillage une certaine rapidité, il est maintenant extrêmement difficile de procurer à cette première vitesse qui a coûté si peu, une

Fig. 84. augmentation considérable. C'est un terme qu'on ne se résoudra peut être jamais à passer, & auquel on ne parviendra même toujours qu'avec quelque peine, que de faire prendre aux Frégates legeres dans leur marche la moitié de la vitesse absolue du vent

V.

Par un bonheur sur lequel on ne pouvoit pas compter, car la chose n'a pas été examinée, cette autre maxime se trouve vraie ; *que la vitesse du sillage est toujours proportionnelle au sinus de l'angle d'incidence réel du vent sur les voiles, lorsqu'on reçoit le vent plus ou moins obliquement & que les autres circonstances sont les mêmes.* Il faut bien remarquer que nous ne disons pas l'angle d'incidence apparent : car la regle n'est exacte que pour l'angle d'incidence vrai, qui par malheur n'est visible que sur le papier ou dans les figures. Dans la formule $v = \frac{ap\sqrt{E}}{m\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$, on s'aperçoit que v est effectivement proportionnelle à p . Car la voile faisant toujours le même angle avec la route, le sinus q sera constant, de même que la quantité CY ; de sorte que la valeur de v ne change que par le changement de p & dans le même rapport ; selon qu'en plaçant différemment le Navire, sa voile reçoit le vent plus ou moins perpendiculairement. Mais il arrive ici comme dans la plupart des autres recherches qui se font par le moyen de l'Algebre ; qu'on trouve seulement la vérité & qu'on ne la voit pas : car ce n'est pas la voir que de n'en pas appercevoir la cause ou la raison. Elle se montrera à nous cette raison, si nous jettons les yeux sur la figure 86 qui représente le Vaisseau en deux différentes situations par rapport au vent, & la voile toujours disposée de même maniere par rapport à la quille.

Lorsque le Vaisseau est dans la premiere situation, il s'ingle sur la route Cc , & en passant de C en c il fait perdre au vent la partie de vitesse CF retranchée par cF qui est parallele à la voile DE & qui marque sa situation lorsque le Navire est parvenu en c . La voile est donc frappée avec le

surplus FG de la vitesse du vent. Dans la seconde disposition, la route est Cx : mais le Vaisseau en passant de C en x fait perdre au vent précisément la même partie de vitesse CF par rapport à la voile. C'est par cette raison que la vitesse du sillage ne dépend que du sinus de l'angle vrai d'incidence, sans que la diversité de cet angle apporte d'autre différence. Les vitesses Cc & Cx étant proportionnelles aux sinus des angles d'incidence VCE & VCE , elles le sont également aux sinus des Angles CFc & CFx qui leur sont égaux : mais aussi-tôt qu'il y a même rapport du sinus de l'angle CFc à Cc dans le triangle CFc , que du sinus de l'angle CFx à Cx dans le triangle CFx ; & que les angles en c & en x sont égaux, puisque la voile fait toujours le même angle avec la route, le côté CF doit être exactement le même dans les deux triangles.

Fig. 86.

Ainsi lorsqu'on change la situation entière du Vaisseau par rapport au vent, pourvu qu'on laisse aux voiles la même disposition par rapport au Navire, la vitesse respective du vent par rapport à la voile ne souffre aucun changement, & dans ce cas les règles ordinaires de manœuvre ne doivent donc pas être troublées. Supposé que le sinus de l'angle vrai d'incidence du vent, soit deux ou trois fois plus grand, le Navire singlera deux ou trois fois plus vite. Car si la résistance qu'éprouve la proue de la part de l'eau, est ensuite quatre fois ou neuf fois plus grande, ou si elle est comme le carré de la vitesse du sillage, l'impulsion du vent sur la voile qui est la cause du mouvement & qui est proportionnelle au seul carré du sinus de l'angle d'incidence, puisque la vitesse respective FG est ici toujours la même, sera aussi quatre fois ou neuf fois plus forte. Mais la proportion ne subsiste pas, nous le repetons, entre les vitesses du Navire & les sinus des angles d'incidence apparents : parce que l'impulsion ne dépend pas moins des vitesses apparentes du vent cG & xG que de ces sinus, & que la vitesse apparente du vent est sujette à changer par le changement de la route.

Il ne nous reste plus pour épuiser les remarques qui se présentent sur les vitesses du Navire , qu'à expliquer comment il se peut faire que le sillage soit plus rapide, lorsqu'on reçoit un peu le vent de côté, que lorsqu'on singe exactement vent en poupe. Tous les Marins pensent unanimement de même que les Mathématiciens qui ont examiné ce sujet , que cette propriété ne tire son origine que de ce qu'en prenant un peu le vent de côté toutes les voiles deviennent utiles , & que celles de l'avant qui étoient auparavant couvertes par celles de l'arrière, commencent aussi à avoir part à l'impulsion. Mais il est encore une autre cause qui quoique plus cachée & très-secrete, n'est pas moins réelle, & qui malgré ce qu'on s'imagine généralement , peut faire jouir le Navire de la même propriété, quoiqu'il n'ait qu'un seul mât & qu'une seule voile, comme nous le supposons toujours dans cette Section. Si le vent dans tous les cas frappe la voile DE (Fig. 84.) perpendiculairement, l'expression générale $\frac{ap\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$ des vitesses v du Navire, se change en $\frac{an\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$, qui se réduit dans la route directe à $\frac{an\sqrt{E}}{n\sqrt{CQ} + n\sqrt{E}}$. Et il est facile de remarquer que quoique la première partie du dénominateur de cette dernière expression devienne plus grande , en se changeant en $n\sqrt{CY}$, lorsque la route de directe devient oblique , il peut cependant arriver que le dénominateur entier diminue ; parce que la seconde partie $n\sqrt{E}$ deviendra plus petite par le changement du sinus total n en q , ou par la diminution de l'angle que fait la voile avec la route : changement qui doit produire d'autant plus d'effet qu'il se multiplie par la racine quarrée de l'étendue E de la voile qu'on peut supposer aussi grande qu'on veut. Or si le dénominateur entier diminue , il n'en faut pas davantage pour que la vitesse v devienne plus grande ; elle croîtra dans le même rapport que le dénominateur aura diminué. En un mot, pour que la

la vitesse $\frac{an\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$ qu'à le Navire BA dans la route oblique CH, soit plus grande que la vitesse $\frac{an\sqrt{E}}{n\sqrt{CQ} + n\sqrt{E}}$ qu'il a dans la route directe, il suffit que $n\sqrt{CQ} + n\sqrt{E} > n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}$, ou que $\sqrt{E} > \frac{n}{n-q} \times \sqrt{CY - CQ}$.

La possibilité de ce paradoxe se trouve de cette sorte suffisamment établie; il ne reste qu'à en donner la raison physique. Lorsque le Navire singe vent en poupe, & qu'il fait beaucoup de chemin, toute sa vitesse est absolument à retrancher de celle du vent; & la voile est donc choquée avec moins de force. Lorsque le Navire suit au contraire une route un peu oblique, il peut aller aussi vite & même beaucoup plus vite, & que néanmoins son mouvement ne retranche pas une si grande partie de la vitesse absolue du vent; ce qui fera que la voile recevra une plus grande impulsion. Si, sans changer la disposition du Vaisseau BA par rapport à la direction VG du vent dans la Fig. 86. on rend la voile exactement perpendiculaire à cette direction, la ligne cF deviendra aussi perpendiculaire à GV, & alors la partie CF de la vitesse absolue CG du vent que le mouvement du sillage rendra inutile, sera beaucoup plus petite que la vitesse même Cc du Navire: au lieu que si la route Cc tomboit exactement sur la direction même CG, toute la vitesse Cc seroit à rabatre de celle du vent, & seroit par conséquent diminuer davantage la vitesse relative FG avec laquelle la voile est frappée. Toutes ces différences deviendront insensibles, lorsque la vitesse respective FG du vent sera trop grande par rapport à elles: mais elles se manifesteront ou produiront des effets marqués, aussi-tôt que cette vitesse sera assez petite pour pouvoir en être considérablement altérée. C'est par cette raison qu'il suffit toujours pour qu'un Navire singe plus vite dans les routes un peu obliques que dans la directe, de faire en sorte, en augmentant l'étendue de sa voile, qu'il singe beaucoup plus vite dans l'une & dans les autres, ou qu'il singe plus vite dans toutes.

Fig. 86.

VII.

Nous pouvons pousser le paradoxe encore plus loin, en y joignant une autre particularité incomparablement plus étonnante. Nous pouvons montrer, en attendant que nous donnions les moyens d'effectuer la chose, que certains Navires peuvent aller dans quelques rencontres plus vite que le vent même. Le vent, lorsqu'il commence à nous incommoder par sa force, fait 24 ou 25 pieds par seconde & parcourt 5 à 6 lieues par heure : mais il n'est pas impossible que le Navire qui en est poussé fasse alors ce chemin & même plus, quoique par la seule action de ses voiles. S'il est question de déterminer la direction de sa route & la disposition de sa voile qui rendent sa vitesse v la plus grande qu'il est possible, il est évident, lorsqu'on jette les yeux sur la formule

$$v = \frac{ap\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}} \text{ ou sur son équivalente } v = \frac{ap\sqrt{CQ}}{k - 1 \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}},$$

qu'il faut d'abord augmenter le sinus d'incidence p du vent sur la voile, jusqu'à le rendre égal au sinus total. Ainsi, quoique la voile soit située obliquement par rapport à la quille, il n'y aura toujours, comme nous l'avons supposé dans l'article précédent, qu'à disposer le Navire de manière que sa voile soit frappée perpendiculairement par le vent, pour procurer au sillage la plus grande rapidité, autant qu'elle dépend de ce chef; ce qui nous donnera $v = \frac{an\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$ ou $v = \frac{an\sqrt{CQ}}{k - 1 \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$.

On voit en second lieu, que si l'étendue E des voiles étoit infinie, le premier terme $n\sqrt{CY}$ du dénominateur de l'expression de la vitesse v , deviendrait comme nul; ce qui réduiroit cette expression à $v = \frac{an}{q}$: nouvelle formule qui nous apprendroit, si nous ne le savions déjà, que le Navire iroit alors aussi vite que le vent dans la route directe. Mais ce qu'il ne faut pas manquer de considérer, c'est que la vitesse v du sillage augmenteroit encore & devien-

droit par conséquent plus grande que celle a du vent, si on laissoit toujours la voile dans une situation perpendiculaire au vent, & qu'on fit embrasser au Navire une route oblique: car q se trouvant moindre que n , la valeur $\frac{na}{q}$ de la vitesse du sillage se trouveroit plus grande que a . Fig. 34.

La singularité que nous annonçons n'est pas attachée au seul cas dans lequel l'étendue de la voile est infinie. Car lorsque le sinus q est moindre que le sinus total, il se peut faire que le premier terme $n\sqrt{CY}$, ou $k-1 \times n\sqrt{CY}$ du dénominateur de la valeur v , ne supplée qu'à peine, ou ne supplée pas à ce qui manque au second terme, pour qu'il soit égal au facteur $n\sqrt{E}$ ou $n\sqrt{CQ}$ du numérateur; & dans ce dernier cas v sera nécessairement plus grande que a . Il suffit toujours pour cela dans notre formule $v =$

$\frac{an\sqrt{CQ}}{k-1 \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$, que k ne surpasse que très-peu l'unité, ou que le Navire prenne presque toute la vitesse du vent dans la route directe: car le terme $k-1 \times n\sqrt{CY}$ sera très-petit, & il n'empêchera pas que $k-1 \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}$ ne soit moindre que $n\sqrt{CQ}$. En un mot, pour que le Navire avance dans plusieurs routes obliques avec plus de vitesse que n'en a le vent même; il suffit que $k-1 \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ} < n\sqrt{CQ}$ ou que $k-1 \times n\sqrt{CY} < n-q\sqrt{CQ}$; & on aura la première & la dernière de toutes ces routes, en faisant $k-1 \times n\sqrt{CY} = n-q\sqrt{CQ}$. Il sera enfin très-facile de déterminer pour chaque Navire l'obliquité qui procure la plus grande de toutes ces vitesses déjà si grandes; puisqu'il ne s'agira que de faire un *minimum* de la quantité $k-1 \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}$, qui ne renferme que deux variables CY & q dont nous avons la relation.

Nous avons marqué d'avance la raison de ce paradoxe, lorsque nous avons parlé du premier dont celui ci n'est

Fig. 85.

qu'une extension. Le Navire, quoiqu'il marche réellement plus vite que le vent, en est cependant encore atteint & frappé; parce qu'il ne suit pas la même direction, & qu'il n'évite le choc que par une partie de sa vitesse. C'est ce qu'on verra d'une manière sensible en jettant les yeux sur la Figure 85, dans laquelle la direction du vent est représentée par VG & sa vitesse par CG ; pendant que CH représente la route du Navire & Cc sa vitesse. Cette dernière vitesse est plus grande que la première, mais l'obliquité de la route Cc est cause que le mouvement du sillage ne rend inutile que la seule partie CF de la vitesse du vent, & qu'il reste encore la partie FG avec laquelle se fait l'impulsion. Ainsi il suffit de donner assez d'étendue à la voile, afin de recompenser en même tems le peu de vitesse relative avec laquelle elle est frappée & le peu de densité de l'air, pour qu'elle puisse entretenir la vitesse Cc du sillage. Si le Navire embrassoit une direction trop oblique, de même que s'il en prenoit une trop approchante de la directe; au lieu de parvenir en dehors du cercle GQ dont C est le centre, il se rendroit seulement en quelque point de sa circonférence; sa vitesse seroit alors simplement égale à celle du vent: & ce seroient donc là les deux limites, dont nous avons parlé, & que nous sommes en état de déterminer, entre lesquelles sont renfermées toutes les routes comme Cc , qui donnent lieu au paradoxe. Nous ne croyons pas qu'il soit nécessaire de pousser cette explication plus loin; mais nous montrerons dans la suite, ainsi que nous nous y sommes engagés, comment on peut faire en sorte, par des moyens qui ne sont pas absolument impraticables, que les Navires jouissent effectivement de cette propriété extraordinaire*. Il est toujours utile de s'occuper de pareilles Recherches; quoiqu'on ne se propose pas d'aller réellement dans la pratique jusqu'au terme qui en est l'objet, & qu'on soit même résolu de s'arrêter beaucoup en deçà.

* Voyez
le Chap. 8.
de la qua-
t ième Sec.
art. 3.

CHAPITRE VI.

De la construction des Tables des Vitesse.

I.

Enfin, si on veut construire une Table des vitesses du Navire, le calcul dans lequel il faudra s'engager pour cela lorsqu'on se servira de la formule $v = \frac{ap\sqrt{CQ}}{k - 1 \times n\sqrt{CY} + \sqrt{CQ}}$, ne sera jamais difficile. Nous nous sommes contentés de chercher ici ces vitesses pour trois diverses dispositions de voile par rapport au Navire ; parce que nous nous proposons simplement de montrer la forme que nous souhaiterions qu'eussent ces nouvelles Tables.

La première colonne marquerait l'angle de la voile avec la quille, l'angle ECA (Fig. 86) & la seconde l'angle de la dérive ou l'obliquité de la route ACc. On a ensuite supposé pour chaque de ces dispositions, divers angles d'incidence VCE du vent sur la voile, & on les a marqués dans la troisième colonne. Dans la quatrième on a mis les angles VCc de la direction réelle du vent avec la route, lesquels sont toujours formés, comme il est évident, de la somme des trois précédens ; la cinquième colonne marque la vitesse du Navire à proportion de celle du vent qu'on a représentée par 300. Enfin les deux dernières colonnes indiquent les angles apparens du vent avec la voile & avec la route. On a trouvé ces angles en resolvant le triangle CGc par le moyen d'une figure, & en retranchant l'angle G que fait la direction aparente cG du vent avec la direction réelle CG, des angles vrais marqués dans la troisième & la quatrième colonne. De toutes ces quantités il n'y a que la première des vitesses pour chaque route, qui engage à une opération un peu longue ; nous venons de voir que toutes les autres diminuent comme les

Fig. 86.

sinus des angles d'incidence vrais du vent sur la voile. Il est vrai que la chose ira un peu autrement, si le Navire a plusieurs mâts & plusieurs voiles; parce qu'il faudra faire attention à l'étendue de la nouvelle partie des voiles de la proue, qui sera sujette à l'impulsion, lorsqu'on rendra l'angle d'incidence plus petit. On peut continuer cette Table; mais après cela il sera à propos d'en calculer au moins deux autres pour les Vaisseaux, qui au lieu de recevoir le riers de la vitesse du vent, comme on l'a supposé ici, en reçoivent quelque autre partie. Il faut remarquer que presque tous les calculs qui serviront à la construction d'une de ces Tables, serviront aussi aux autres, puisqu'il n'y aura que la seule quantité k qui sera différente. Mais enfin il est fâcheux que ce ne soit point encore assez: il faudroit se résoudre à former encore d'autres Tables semblables à ces premières, au moins pour trois ou quatre figures de proües différentes; c'est-à-dire pour celles qui sont sujettes à différentes dérives, quoique les voiles soient orientées de la même manière. L'opération se réduiroit à supposer le sommet Q de la parabole SQR (Fig. 84) en trois ou quatre points différens de $C\phi$; ou à attribuer trois ou quatre grandeurs différentes au petit axe $Q\phi$ de l'ellipse $VQv\phi$.

Angles de la voile avec la quille.	Angles de la dérive.		Angles d'incidence réels du vent sur la voile.	Angles réels du vent avec la route.		Vitesse du Navire.	Angles d'incidence apparens du vent sur la voile.	Angles apparens du vent avec la route.
D.	D.	M.	D.	D.	M.		D.	D.
90.	0.	0	90.	80.		100.	90.	180.
			80.	170.		98.	75.	165.
			70.	160.		94.	71.	152.
			60.	150.		87.	49.	139.
			50.	40.		77.	38.	128.
			40.	130.		64.	29.	119.
			30.	120.		50.	21.	111.
			20.	110.		34.	14.	104.
			10.	100.		17.	7.	97.
80.	1.	12	90.	171.	12	100.	86.	167.
			80.	161.	12	98.	71.	152.
			70.	151.	12	94.	58.	140.
			60.	141.	12	87.	47.	128.
			50.	131.	12	77.	37.	118.
			40.	121.	12	64.	29.	110.
			30.	111.	12	50.	21.	102.
			20.	101.	12	34.	14.	95.
			10.	91.	12	17.	7.	88.
75.	1.	51	90.	166.	51	99.	80.	160.
			80.	156.	51	97.	70.	147.
			70.	146.	51	93.	57.	134.
			60.	136.	51	86.	46.	123.
			50.	126.	51	76.	36.	113.
			40.	116.	51	63.	28.	105.
			30.	106.	51	50.	20.	97.
			20.	96.	51	34.	13.	90.
			10.	86.	51	17.	6.	83.

II.

On déduira de la nature même de l'ellipse , si on le veut, la valeur des lignes CQ & CY ; mais notre formule $v =$

$\frac{ap\sqrt{CQ}}{k - 1 \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{QC}}$ aura également son application lorsqu'on cherchera immédiatement sur la proue même, par les moyens Géométriques ou Mécaniques que nous avons proposés dans la Section précédente, les impulsions auxquelles elle est sujette par la rencontre de l'eau. Il suffira de se souvenir que CQ représente toujours l'impulsion directe, lorsque le Navire se meut précisément dans le sens de son axe, & CY l'impulsion absolue horizontale qu'il souffre dans chaque route oblique CH; & cela lorsque sa vitesse est toujours la même: car les lignes CQ & CY ne représentent les impulsions qu'autant qu'elles dépendent de la surface de la Carène; conformément à ce qu'on a vu dans le premier article du Chapitre précédent. On cherchera, si on le veut, ces impulsions par la méthode du Chapitre VI. de la Section citée: la première CQ trouvée une fois par l'art I. servira dans tous les calculs; il n'y aura que la seconde CY sujette à changer par l'obliquité des routes; & comme elle résulte de la composition des impulsions relatives directe & latérale, qu'on trouvera par l'art. II. du même Chapitre, il n'y aura qu'à résoudre le triangle rectangle dont elle sera l'hypothénuse & dont les deux impulsions relatives seront les cotés. Il me semble que c'est la façon la plus simple de calculer CY, lorsqu'il s'agira de Recherches particulières, & non pas de solutions générales. Il ne restera plus après cela pour déterminer toutes les vitesses v du Navire, qu'à faire entrer ces valeurs de CQ & de CY dans la formule; en même tems qu'on y introduira à la place de a la vitesse absolue du vent; à la place de k le nombre qui exprime combien de fois cette vitesse est plus grande que celle du Navire dans la route directe; & à la place de n , de p & de q , le sinus total, le sinus de l'angle d'incidence du vent sur la voile, & le sinus de l'angle que fait la voile avec la route, c'est-à-dire le sinus de l'angle ECH.

III.

Comme je ne doute pas qu'on ne puisse souvent regarder les Navires qu'on construit de notre tems, comme si leur proue étoit formée de deux arcs de cercle, on peut avec facilité tirer parti du travail de M. Pitot, qui s'est donné la peine de calculer les impulsions que souffrent divers segmens de cercles joints par leur corde, & qui en a dressé des Tables dans son Traité de Manœuvre. Il est vrai que cet Académicien n'a pas inferé les impulsions qu'il a trouvées, au moins celles qui naissent de la dernière composition de primitives; mais ce qui revient au même, il a marqué toutes les vitesses que recevrait le Navire en suivant différentes routes, dans la supposition que le vent, malgré la rapidité du sillage, frapât toujours la voile précisément avec la même force; & on sçait que ces vitesses sont en raison inverse des racines quarrées des impulsions que nous avons actuellement intérêt de connoître. Car si le Navire dans une certaine route, par exemple, présente 4 fois ou 9 fois moins de surface au choc de l'eau, ou une surface qui, parce qu'elle est moins grande ou plus différente de la plane, reçoit à cause des seules circonstances qui lui sont propres, 4 fois ou 9 fois moins de choc, il est évident à tous les lecteurs qui se sont mis au fait des principes expliqués ci-devant, qu'il suffira que le Navire singe 2 ou 3 fois plus vite pour faire une parfaite compensation, ou pour que l'impulsion actuelle de l'eau soit toujours égale à celle du vent, supposé constante. On peut donc consulter les Tables de M. Pitot, sçavoir la quatrième, la cinquième, la sixième, &c. jusqu'à la douzième inclusivement, qui sont précisément celles que demandoit M. Bernoulli; & on obtiendra tout d'un coup les valeurs de CQ & de CY, en divisant l'unité ou quelque autre grandeur constante par les quarrés des vitesses indiquées dans ces Tables.

Je prends pour exemple un Navire dont la proue est formée par deux arcs de cercle, qui sont en se rencontrant un

M m m .

Fig. 84. angle curviligne de 60 degrés: cette figure apartiendra à la douzième Table dans laquelle la vitesse pour la route directe est marquée, de même que dans les autres Tables par 1000, ce qui donne $\frac{1}{1000000}$ pour CQ, ou $\frac{1}{1000000}$ pour \sqrt{CQ} . Je suppose de plus que la grandeur des voiles est telle que le Navire dans la route directe prenne le tiers de la vitesse absolue du vent, ce qui rend $k=3$. Si on nous propose après cela de découvrir la vitesse avec laquelle doit singler ce Navire, lorsque sa voile fait avec sa quille un angle de 59 degrés 31'. & que l'angle réel d'incidence du vent soit de 40 degrés, je cherche dans la Table vis-à-vis de 59 degrés 31' & je trouve la vitesse 923. Ainsi j'ai $CY = \frac{1}{923 \times 923}$ ou $\sqrt{CY} = \frac{1}{923}$; & la même Table m'apprend que l'angle de la dérive est de 2 degrés 30', & l'angle par conséquent que forme la voile avec la route de 62 degrés 1'. De sorte que prenant 100000 pour le sinus total (n), j'ai 88308 pour le sinus q , en même tems que j'ai 64279, pour le sinus p de l'incidence du vent sur la voile. Or l'introduction de tous ces nombres dans notre formule $v = \frac{ap\sqrt{CQ}}{k - 1 \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$, la changera en $v = a \times \frac{64279}{104992}$ qui satisfait à la question, en nous indiquant le rapport qu'à la vitesse (v) du Navire dans la route proposée avec la vitesse absolue (a) du vent. Si cette dernière vitesse est représentée par 3000, on trouvera 632 pour celle du Navire: & rien n'empêche, en suivant la même Méthode, de résoudre assez d'autres cas pour pouvoir en dresser une Table complète.

Il ne faudra pas se contenter de supposer que la vitesse du Navire est le tiers de celle du vent dans la route directe, il faudra faire varier ce rapport, ainsi que nous en avons expressément averti; afin d'embrasser les Vaisseaux dont la mâture a des dimensions différentes. Si on suppose que le Navire dont l'angle curviligne de la prouë est toujours de 60 degrés; a des voiles assez étendues pour que la vitesse qu'il reçoit lorsqu'il single exactement vent en poupe, soit la moitié de celle du vent; & si on demande celle qu'il doit prendre, lorsque sa voile fait avec la quille un angle

de 54 degrés 38', & que l'angle réel d'incidence du vent sur cette voile est droit, on trouvera d'abord dans les Tables de M. Pitot que l'angle de la dérive est de 3 degrés, & par conséquent l'angle de la voile & de la route de 57 degrés 38', & que la vitesse pour le cas dans lequel cet Auteur la cherchée, est de 900, à proportion de 1000 qui exprime celle de la route directe. Ainsi on aura dans cet exemple $\sqrt{CQ} = \frac{1}{1000}$; $\sqrt{CY} = \frac{1}{900}$; $n = p = 100000$; $q = 84463$; $k = 2$, & enfin $v = a \times \frac{1000000}{193574}$; de sorte que le Navire prendra dans cette disposition plus de la moitié de la vitesse du vent, & plus de vitesse que lorsqu'il single vent en poupe. Ce sera donc là un des cas du paradoxe dont nous avons parlé dans l'art VI. du Chapitre précédent: suposant la vitesse absolue (a) du vent de 3000, il viendra 1533 pour celle du Navire, au lieu qu'elle n'est que de 1500 dans la route directe. On peut dans le calcul, sans se conformer servilement à notre formule, suivre les vestiges du chemin qui nous y a conduits, & imaginer differens abregés qui diminuront encore la longueur de l'opération, quoiqu'on n'ait point à se plaindre de sa prolixité. On obtiendra par ce moyen des Tables qui seront parfaitement exactes, & dont on ne devra la facilité de la construction à aucune négligence des circonstances essentielles.

Fig. 84.

CHAPITRE VII.

De la disposition la plus avantageuse des Voiles & du Vaisseau par rapport au Vent, pour suivre une route proposée, pour gagner au Vent, &c.

I.

CES Tables seroient d'un grand usage; elles serviroient principalement à résoudre sur le champ les Problèmes de Manœuvre, sans qu'on se trouvât dans la

M m m ij

nécessité d'examiner la figure particulière de chaque Navire. Un de ces Problèmes & un des plus importants , est de découvrir la disposition la plus avantageuse des voiles & du Vaisseau par rapport au vent pour faire une route proposée : ce Problème seroit tout résolu par les Tables. Supposé qu'il fût question de suivre une route qui fit un angle de 50 degrés avec la direction du vent , il n'y auroit qu'à voir en cherchant ce nombre dans la quatrième colonne , la disposition des voiles & du Vaisseau qui procureroit au sillage la plus grande vitesse possible. Si on faisoit la même chose pour toutes les autres routes de degré en degré ou de cinq en cinq , on pourroit former une nouvelle Table destinée seulement à marquer les résultats ou la disposition la plus avantageuse , pour suivre chaque route.

II.

Un second Problème qui n'est pas moins important ; c'est de déterminer la disposition des voiles & du Vaisseau la plus convenable , pour *gagner* au vent : on le pourroit aussi résoudre par les Tables.

Il est vrai que ce second Problème est plus difficile que le premier : il est de ceux qui appartiennent aux questions *de maximis maximorum*. Il s'agit lorsque le Vaisseau est en C (Fig. 83.) de le disposer tellement par rapport au vent de même que sa voile DE , qu'il s'éloigne le plus qu'il est possible de la perpendiculaire MN à la direction VG du vent. Il n'est pas question de rendre l'angle VCc des deux directions VC & Cc , le moindre qu'il est possible : car le vent frappant les voiles plus obliquement , & outre cela une moindre partie de l'impulsion s'exerçant selon la route , le Vaisseau singleroit moins vite , & s'éloigneroit peut-être d'une moindre quantité de la ligne MN ; & on doit bien remarquer qu'on ne gagne au vent qu'autant qu'on s'éloigne de cette perpendiculaire , ou qu'on avance vers l'origine même du vent. L'autre Problème où il s'agit de rendre l'angle de la voile & de la route le moindre qu'il

Fig. 83.

se peut, mérite aussi d'être examiné par les Auteurs qui Fig. 83. traitent de la Manœuvre. Ce n'est qu'en se conformant à la disposition qu'il fournit, qu'on réussit souvent à doubler un Cap ou à éviter un écueil : car il faut quelquefois *pincer le vent* le plus qu'il est possible, ou rendre l'angle ECc de la route & de la voile le plus petit qu'il se peut, afin de faire diminuer l'angle total VCc du vent & de la route, lorsqu'il s'agit de passer dans un Canal étroit, sans qu'il importe avec quelle vitesse on singe. On n'a calculé dans la Table du Chapitre IV. les angles de dérive que jusqu'à cette disposition, ce qui peut tenir lieu d'une solution plus exacte, qu'il n'est pas d'ailleurs difficile d'obtenir ; puisque le Problème n'est réellement que du second degré.

III.

On dirigera de cette sorte la route le plus vers le vent qu'il se pourra. Mais cependant on ne *gagnera* pas au vent le plus qu'il sera possible ; parce qu'en suivant, lorsque la chose sera permise, une route Cc un peu plus éloignée de la direction VC , on singlera plus vite, & cet excès de vitesse réparant ce que la direction de la route fait perdre, il se trouvera que tout compté, la quantité Pc dont le Navire avancera vers l'origine du vent, sera plus grande. C'est par cette seconde disposition qu'on dispute l'avantage du vent à un ennemi, ou qu'on chicane, pour ainsi dire, contre le vent même, lorsqu'il est absolument contraire à la route qu'on se proposoit de faire, & qu'on est en pleine Mer. On veut aller exactement vers le midi ; mais malheureusement le vent vient précisément de ce côté : il faut donc en présentant la prouë vers cet endroit de l'horison la diriger tantôt vers l'orient & tantôt vers l'occident ; il faut marcher en *zigzags* ou *louvoyer* comme parlent les Marins, & suivre de chaque côté, je le repete encore, non pas la route Cc , qui fait le plus grand angle cCN avec la perpendiculaire CN au lit du vent, mais la route qui fait que le Navire s'éloigne de cette perpendiculaire de la plus grande

Fig. 8). quantité Pc . On considère le vent comme un large fleuve dont toutes les parties se meuvent précisément dans le même sens, & avec la même vitesse; & on veut en se servant de sa propre force, remonter contre son cours le plus qu'il est possible.

Entre les différentes manières de décomposer la difficulté, afin de résoudre à part chaque question *de Maximis* dans lesquelles elle se partage, tous nos Auteurs de Manœuvre se sont accordés à considérer que la situation du Vaisseau étant donnée par rapport à la direction du vent, il y a une certaine disposition de voile qui est préférable; & que pour chaque disposition de voile il y a aussi une certaine situation du Vaisseau qui est plus avantageuse. Mais lorsqu'on entreprend de résoudre le Problème selon cette distribution, on est obligé de se livrer à un double tâtonnement; puisqu'il y a une infinité de diverses dispositions de voiles, & que pour chacune il y a une infinité de diverses situations du Vaisseau. Si pour éviter la prolixité d'un travail si pénible, ou vouloir d'un autre côté négliger la dérive, les déterminations auxquelles on parviendrait, ne seroient pas plus exactes le plus souvent, comme on le verra plus bas, que si on prenoit au hasard les premières dispositions qui se présentent. C'est ce que l'intérêt de la vérité qu'il n'est pas permis de trahir dans une matière si importante, me force de dire; & je le puis faire avec d'autant plus de liberté, que je connois toute la candeur des Mathématiciens qui pourroient en être blessés. Mais il y a une autre manière de partager la question qui ôtant la moitié du tâtonnement, leve aussi la moitié de la difficulté, & qui nous mettroit outre cela en état de résoudre le Problème d'une manière directe, universelle & parfaitement géométrique, si nous croyons pouvoir en rendre la solution assez simple pour l'accommoder aux usages de la pratique.

Au lieu de considérer que pour chaque disposition du Vaisseau par rapport au vent, il y a une disposition plus avantageuse de voile; & que pour chaque disposition de voile

par rapport au vent, il y a aussi une certaine situation du Vaisseau qui est préférable; nous n'avons qu'à supposer d'abord que la voile est stable par rapport au Navire, & chercher la disposition la plus avantageuse qu'on peut donner à l'un & à l'autre par rapport au vent; & après cela nous considérons la voile dans diverses situations par rapport au Navire, & nous examinerons qu'elle est la meilleure. La première partie du Problème se résoudra fort aisément; on trouvera la disposition dont il s'agit par cette règle très-simple que nous démontrerons ci-après; que la voile doit toujours être autant éloignée de la direction du vent, que la route est éloignée de la perpendiculaire au vent, ou de la ligne quelle qu'elle soit dont on veut s'écarter. C'est-à-dire que quelque soit l'angle que fait la voile avec la quille; *il faut toujours, pour que le Vaisseau avec la disposition actuelle de sa voilure gagne au vent le plus qu'il est possible, que l'angle réel d'incidence VCE (Fig. 83.) que fait le vent avec la voile, soit égal à l'angle cCP que fait la route avec la ligne CN dont il est question de s'éloigner.*

Ainsi le tâtonnement ne peut plus tomber que sur le seul angle que doit former la voile avec la quille. Si cet angle est de 40 degrés, & que l'angle correspondant de la dérive soit de 9, l'angle total ECc de la voile & de la route sera de 49; & si on ôte cet angle de l'angle VCP qui est de 90 degrés, & qu'on prenne la moitié du reste, on aura 20 $\frac{1}{2}$ degrés pour chacun des angles VCE & cCP , conformément à la règle que nous venons de rapporter. Or si on cherche dans la Table du Chapitre précédent la vitesse Cc du Navire & qu'on détermine Pc en résolvant le triangle rectangle cCP dont on connoîtra l'hypothénuse & l'angle PCc de 20 $\frac{1}{2}$ degrés, on aura la quantité dont le Navire aura gagné au vent. Il n'y aura qu'à faire la même chose pour un certain nombre d'autres dispositions de la voile par rapport à la quille, & à l'aide de trois ou quatre tentatives, on sçaura ordinairement laquelle des dispositions est préférable ou celle qui fait faire au Vaisseau le plus de progrès Pc dans le sens directement contraire au lit du

Fig. 83.

Fig. 83. vent. Comme nous n'avons pas poussé assez loin la Table du Chapitre précédent, nous allons éclaircir ce que nous venons de dire par un exemple pris dans les Tables de M. Pitot, à la constitution desquelles nous nous conformerons, en supposant que la vitesse du vent, est comme infinie par rapport à celle du Vaisseau.

Nous choisirons la Table 12 qui exprime les circonstances du mouvement d'un Navire qui seroit formé par deux segmens de cercle chacun de 60 degrés. Si nous supposons que l'angle de la dérive ou l'angle que fait la route avec la quille est de $8\frac{1}{2}$ degrés, nous trouverons dans cette Table que la voile doit faire avec la quille un angle de 28 degrés 41'. D'où il suit que la voile fait avec la route un angle ECc de 37 degrés 11' que nous n'avons qu'à ôter de 90 degrés & prendre la moitié du reste, & il nous viendra 26 degrés 24 $\frac{1}{2}'$ pour l'angle d'incidence VCE & pour celui cCN que doit faire la route avec la ligne CN dont on veut s'éloigner le plus qu'il est possible. On trouve dans la même Table 654 pour l'expression de la vitesse: mais il faut remarquer que cette vitesse est celle qui est produite par l'impulsion perpendiculaire du vent sur la voile & qu'elle doit être ici diminuée dans le rapport que le sinus de l'angle d'incidence 26 degrés 24 $\frac{1}{2}'$. est plus petit que le sinus total. Ainsi elle n'est actuellement que de 291; & si en résolvant le triangle rectangle CPc dont l'angle C est de 26 degrés 24 $\frac{1}{2}'$. & l'hypothénuse Cc de 291 parties on cherche le progrès Pc vers le vent, on trouvera qu'il est d'environ 129 $\frac{1}{2}$: au lieu que si on suppose que l'angle de la dérive est de 8 ou de 9 degrés & qu'on fasse la même opération, on trouvera que le progrès Pc est un peu moindre, & que la première disposition est par conséquent la plus avantageuse. Or il suit de-là que la voile doit faire avec la quille un angle de 28 degrés 41', & avec le vent de 26 degrés 24': au lieu qu'on trouve* le premier de ces angles d'environ 20 degrés, & le second d'environ 35, lorsqu'on néglige la dérive.

* Pag. 83.
du Traité
de Manœu-
vre.

IV.

Il ne nous reste plus qu'à montrer la vérité de la règle que nous venons d'employer, laquelle pouvant servir également lorsqu'il s'agit de s'éloigner le plus qu'il est possible de toute ligne donnée, doit être d'usage dans plusieurs autres rencontres, & principalement lorsqu'on *donne chasse* à un Vaisseau qu'on veut atteindre. J'ai montré dans les Mémoires de l'Académie des Sciences*, en parlant des lignes que j'ai nommées *courbes de poursuite*, combien on perdoit de tems & combien on s'exposoit à manquer sa proie, lorsqu'au lieu de tâcher de lui couper le chemin, on s'arrêtoit à diriger toujours sa route sur elle, & à décrire une ligne courbe. Si le Vaisseau AB (Fig. 87.) veut atteindre infailliblement le Vaisseau FG qui fait la route KO, il faut qu'il suive une ligne CN avec une vitesse qui soit telle qu'il parvienne en L & en N sur les paralleles LM & NO à la première ligne CK, précisément en même-tems que l'autre Vaisseau parvient sur ces mêmes paralleles en M & en O; c'est-à-dire, qu'il faut malgré le mouvement des deux Navires, que l'un reste toujours au même rumb de vent par rapport à l'autre. S'ils vont ensuite en s'approchant, ils se rencontreront infailliblement, parce qu'ils se trouveront en même tems à l'intersection Q de leurs deux routes. Mais si le Vaisseau AB, lorsqu'il est dans la disposition même qui peut l'éloigner le plus de la ligne CK, reste de l'arrière par rapport à l'autre Navire, il sera inutile, comme on le voit évidemment, qu'il continuë sa poursuite. Or il s'agit de démontrer qu'une des conditions de cette disposition la plus avantageuse (dont il n'est pas néanmoins toujours nécessaire de se servir, parce qu'au lieu de rencontrer le Vaisseau qu'on poursuit, on passeroit quelquefois au-devant de lui) est que l'angle d'incidence réel VCE du vent sur la voile, soit égal à l'angle LCK que fait la route avec la ligne CK, dont on veut s'éloigner. Lorsqu'il s'agit de *gagner au vent*, on se propose de s'éloigner d'une ligne qui est perpendiculaire au lit du vent; au lieu que lorsqu'on

* Année
1732.

Fig. 87.

N n n

veut atteindre un autre Vaisseau & qu'on ne peut le faire qu'à peine, il s'agit de s'éloigner de la ligne CK qui joint les deux points d'où partent les Navires. Mais la règle est générale & applicable à tous les cas, comme on va le voir.

Fig. 86. Aussi-tôt que l'angle ECA ou eCa (Fig. 86.) de la voile & de la quille est donnée, l'angle de la dérive est le même; la route fait un angle constant ECc ou eCx avec la voile, & les vitesses Cc ou Cx que prend le Vaisseau dans les diverses situations où on le met par rapport au vent, sont proportionnelles comme nous l'avons prouvé, aux sinus des différens angles d'incidence que fait le vent avec la voile: c'est-à-dire, que Cc est à Cx comme le sinus de l'angle VCE est au sinus de l'angle VCe. Mais puisque dans le triangle cCx les côtés Cc & Cx, qui sont supposés ne former qu'un angle infiniment petit, sont aussi proportionnels aux sinus des angles qui leur sont opposés en x & en c , & que la différence de ces deux angles, qui est l'angle cCx , est égale à la différence ECc des deux angles d'incidence, il s'ensuit que les angles en c & en x , sont égaux aux angles d'incidence: car il faut nécessairement que deux angles soient égaux à deux autres angles, aussi-tôt qu'il y a entr'eux la même différence, & qu'outre cela il y a le même rapport entre leurs sinus. Ainsi en donnant différentes dispositions au Vaisseau par rapport au vent, on lui fait suivre différentes routes, & on le fait parvenir en divers points c , x , &c. qui forment une courbe $OcxP$: nous ne nous arrêtons pas à montrer que cette courbe est un cercle; mais aussi-tôt que l'angle de la voile avec la quille est toujours de même, on voit que cette courbe, ou ce qui est la même chose, que la ligne infiniment petite cx qui joint les deux points c & x où le Navire parvient, lorsqu'on lui donne deux dispositions qui ne diffèrent qu'infiniment peu l'une de l'autre, fait toujours avec la route Cc un angle c égal à l'angle correspondant d'incidence du vent sur la voile. S'il s'agit donc de choisir la disposition qui fait que le Vaisseau s'éloigne le plus qu'il est possible d'une ligne droite donnée CM, ou de le faire parvenir

LIVRE III. SECTION II. CHAP. VIII. 467
 dans l'endroit de la courbe $OcxP$, qui étant parallèle à la ligne proposée, en est à la plus grande distance, il faut que l'angle cCM que fait la route avec cette ligne, soit égal à l'angle d'incidence réel VCE du vent sur la voile; puisque le premier de ces angles doit être égal à l'angle Ccx , aussi-tôt que cx est parallèle à CM , & que le second est toujours égal à ce même angle dans toutes les diverses dispositions du Vaisseau. Notre règle servira non-seulement dans les circonstances que nous avons mentionnées; elle servira également lorsqu'on voudra s'élever d'une côte, ou doubler un cap, &c.

CHAPITRE VIII.

Construction des Problèmes proposés dans le Chapitre précédent.

I.

NOUS pouvons donner aussi une construction assez facile des deux Problèmes précédens, à laquelle on aura recours lorsqu'on voudra éviter le procédé trop lent du calcul. Ayant tiré une ligne DE (Fig. 88.) pour représenter la voile; après avoir élevé une perpendiculaire CF pour représenter la direction de son effort, je tire plusieurs lignes, comme CH , pour marquer les diverses routes du Navire, & je retranche sur ces lignes des espaces CG , qui désignent les vitesses dans chaque route. L'angle, GCE que fait la route avec la voile étant donné, le Vaisseau peut avoir une infinité de différentes vitesses, selon que le vent frappe les voiles plus ou moins obliquement; mais les espaces CG marquent seulement celles que prend ce Vaisseau lorsque le vent frappe les voiles à angle droit: de sorte que CG est bien la valeur de v fournie par la formule $v = \frac{ap\sqrt{CQ}}{k - 1 \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$; mais c'est lorsqu'on fait p , qui dé-

Fig. 88.

Nnn ij

Fig. 88. signe le sinus de l'angle d'incidence du vent, égal au sinus total n . En un mot les vitesses que nous employons ici sont les premières qui sont marquées dans la Table du Chapitre V. pour chaque disposition particulière de voile. Les angles HCE de la route & de la voile, ou leur complément HCF, sont pris de la figure 84, où ils sont exprimés par les mêmes lettres, & les quantités CQ & CY qui entrent dans la formule des vitesses, sont, comme on s'en souvient, fournies par la même figure, ou le seront par l'examen actuel qu'on fera de la prouë. La courbe NFG, que nous considérons maintenant & qui passe par tous les points G, sera géométrique; mais après tout, on peut faire entrer dans la détermination des vitesses CG toutes les considérations qu'on croira y avoir part: nous ne demandons rien autre chose, si ce n'est que cette courbe qui pourra ensuite se trouver mécanique, soit tracée exactement.

I I.

La seule méthode légitime qu'on a proposée jusques ici pour trouver la disposition la plus avantageuse des voiles, pour faire une route proposée, exigeroit qu'on traçât une infinité d'autres courbes semblables à celle-ci; qu'on en formât une nouvelle qui passât par toutes les intersections successives de ces premières, ou qui en fût la continuelle osculatrice, & qu'on sçût tirer les tangentes à cette dernière courbe. Cette construction a été donnée par un Mathématicien trop sçavant pour ne pas être élégante: mais elle suppose néanmoins bien des choses, au lieu que nous n'avons besoin que de la seule courbe NFG. Je considère deux routes CG & Cg infiniment proche l'une de l'autre, & qui sont avec les deux lignes VC & vC un angle égal à celui que fait la route proposée avec la direction réelle du vent. Les deux lignes VC, vC représentent la disposition du vent par rapport à la voile, lorsque le Vaisseau suit ou CG ou Cg; & les Geomètres sçavent que si le Vaisseau marche avec la même vitesse, en suivant ces deux

différentes routes, ou ce qui revient au même, que si la différentielle de la vitesse est nulle, c'est une marque que cette même vitesse est à son terme de grandeur, qu'elle est un *maximum*, & qu'on a trouvé la disposition la plus avantageuse. Il est vrai que Cg est plus grande que CG ; mais il faut remarquer que c'est parce que ces lignes, à cause de la construction particulière de la courbe, expriment la vitesse du Navire pour une incidence toujours constante du vent sur la voile; au lieu que si les angles d'incidence sont différens, les deux vitesses pourront être ramenées à l'égalité. Fig. 88.

C'est ce qui arrivera effectivement, si dans le triangle GCg les angles G & g sont égaux aux angles d'incidence correspondans VCE & vCE du vent sur la voile. Car Cg & CG étant comme les sinus des angles opposés G & g , elles seront en raison inverse des sinus des angles réels d'incidence; & la vitesse Cg , qui conserveroit sa grandeur si elle répondoit à un angle d'incidence également grand, deviendra égale à CG ; parce que repondant à l'angle d'incidence vCE , elle doit diminuer dans le même rapport que le sinus de ce dernier angle est plus petit que celui de l'autre VCE . Ce ne seroit pas la même chose, si les deux routes, en se terminant en quelques autres points de la courbe, faisoient avec la courbe des angles plus grands ou plus petits que ceux d'incidence du vent sur la voile. Comme les lignes CG & Cg ne représentent toujours les vitesses du sillage que pour une égale incidence du vent, il est vrai qu'il faudroit faire également une déduction à la seconde vitesse Cg , puis qu'elle répondroit à une incidence plus petite. Mais la diminution se faisant dans le même rapport que le sinus d'un angle d'incidence est plus petit que l'autre, il est nécessaire que dans le triangle GCg , les angles G & g soient égaux à ces angles d'incidence; ou que les côtés Cg & CG soient en raison inverse des sinus de ces mêmes angles, pour que la vitesse Cg après la déduction faite, se trouve parfaitement égale à CG .

Ainsi le point G où se termine la route CG dans la dis-

Fig. 88. position la plus avantageuse, est marqué par cette propriété distinctive, que l'angle G que fait la route avec la courbe NFG , est exactement égal à l'angle d'incidence VCE du vent sur la voile. Mais cela supposé, si on tire au point G une tangente CS à la courbe, l'angle extérieur GSR qu'elle fera avec le prolongement de la voile, sera égal à la somme des deux angles intérieurs G & SCG , & sera donc aussi égal à l'angle VCG de la route & de la direction du vent, qui est formé de l'angle SCG & de l'angle d'incidence VCE égal à l'angle G . Nous avons par conséquent cette règle pour obtenir la disposition la plus avantageuse du Vaisseau & de la voile, lorsqu'il s'agit de faire une route dont l'angle avec la direction du vent est donné. *Nous chercherons le point G , où tirant à la courbe NFG des vitesses une tangente GS , elle fasse avec la voile prolongée CR un angle GSR égal à celui que forme le vent avec la route qu'on veut suivre; & conduisant au point G la droite CG , on aura la situation de la route par rapport à la voile, pendant que VC , qui fera avec CG l'angle donné, indiquera la vraie direction du vent.*

Le Problème se trouve de cette sorte débarrassé de tout ce qu'il avoit de difficile, & réduit à une question simple de pure Géométrie. Mais ce n'est pas ici le lieu d'en parler davantage; d'autant plus que nous croyons qu'il suffit dans la pratique de former avec une fausse équerre l'angle RSG égal à celui du vent & de la route proposée, & de faire glisser une des branches de cette fausse équerre le long de la ligne RC , jusqu'à ce que l'autre vienne toucher la courbe, & indique le point G qu'on vouloit découvrir.

III

L'autre Problème dans lequel il s'agit de *gagner au vent* ou de s'éloigner le plus qu'il est possible d'une ligne droite donnée, ne sera pas plus difficile; il suffit pour le résoudre de faire usage des maximes déjà établies. Nous supposons Fig. 89. que notre courbe des vitesses NFG (Fig 89.) est déjà tracée,

& que VC représente la direction du vent, pendant que CG Fig. 89. est la route, & CQ la ligne dont il s'agit de s'éloigner le plus promptement qu'il est possible, & qui fait avec VC un angle donné VCQ. Il faut d'abord que l'angle d'incidence VCE soit égal à l'angle GCQ que fait la route avec la ligne CQ dont il s'agit de s'écarter: c'est là une condition nécessaire, comme nous l'avons vû dans le dernier article de l'autre Chapitre. Mais pendant qu'elle est observée, il faut encore que le Navire singe sur CG avec la plus grande vitesse: car plus il ira vite sur CG, plus il s'éloignera de CQ, toutes les autres circonstances étant les mêmes. Ainsi il faut conformément à ce que nous venons de montrer dans l'article précédent que la route CG fasse en G avec la courbe NFG un angle PGg égal à l'angle d'incidence VCE. Mais puisque l'angle d'incidence VCE est non seulement égal à l'angle GCQ, qu'il l'est aussi à l'angle PGg de la route & de la courbe, les deux derniers angles seront égaux entr'eux, & par conséquent la courbe sera parallèle en G à la droite CQ dont il s'agit de s'éloigner.

Cela supposé, je fais l'angle QCO égal à l'angle QCG ou à l'angle d'incidence VCE; ou ce qui revient au même, je tire la CM de manière qu'elle fasse avec la voile un angle OCE égal à celui que fait avec la direction du vent la ligne dont on veut s'écarter. Si après cela on élève au point G ou g une perpendiculaire GQ à la courbe, cette ligne sera aussi perpendiculaire à CQ, & lorsqu'elle viendra rencontrer la ligne CM dans un point O, elle formera avec la route & avec CO un triangle isocèle GCO. Nous pouvons donc maintenant caractériser aisément le point G où se doit terminer la route qu'il est le plus avantageux de suivre. *Il faut lorsqu'on élève une perpendiculaire à la courbe NFG des vitesses dans ce point G, que cette perpendiculaire vienne retrancher sur CM qui fait avec la voile un angle égal à celui que fait la ligne donnée avec la direction du vent, une partie CO égale à CG.*

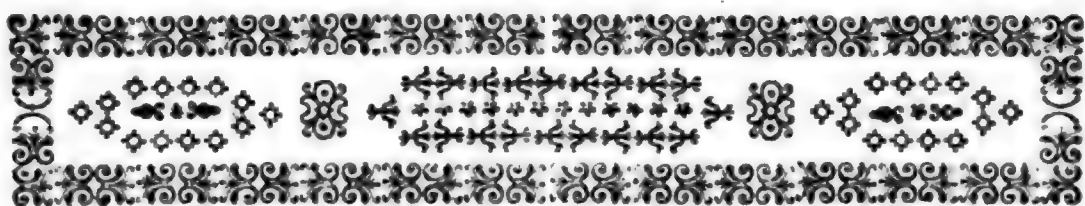
Toute la difficulté se réduit encore de cette sorte comme ci-devant à une question de Géométrie pure; & pour

Fig. 89. la résoudre aisément dans la pratique, il n'y a qu'à tracer plusieurs arcs de cercle comme NG , ng , &c. qui couperont CM dans les points O , o , &c. On tirera les cordes des arcs interceptés OG , og , &c. & il n'y aura qu'à examiner laquelle de ces cordes, est perpendiculaire à la courbe NFG ; cette corde perpendiculaire fera connoître le point G . On peut pour exécuter cela plus aisément poser successivement la branche d'une équerre sur les cordes OG , og , &c. & s'arrêter, aussi-tôt que l'autre branche de l'équerre sera exactement tangente à la courbe.

I V.

On ne peut pas dire avec M. le Chevalier Renau que la courbe NFG des vitesses est un cercle; mais il peut arriver qu'elle n'en diffère que très peu & qu'on ne commette aucune erreur sensible à supposer qu'elle le soit. Alors les deux Problèmes précédens se résoudre d'une manière immédiate & absolument géométrique avec une simplicité que les autres solutions qu'on en avoit données, ne devoient pas naturellement faire attendre. Il n'y aura qu'à décrire un second cercle du point C comme centre, qui passe par le centre x du cercle NFG , & l'intersection G de ces deux cercles marquera le point où doit se rendre la route CG qui fait *gagner au vent* le plus qu'il est possible. On résoudra avec la même facilité l'autre Problème dans lequel il s'agit de trouver la disposition des voiles & du Vaisseau la plus avantageuse par rapport au vent pour suivre une route proposée. M. Renau s'étoit trouvé obligé de recourir à une construction si longue qu'une partie considérable de son livre est destinée à la détailler ou à l'établir, & encore n'est-elle que Mécanique; au lieu qu'il n'y a qu'à former simplement au centre x un angle CxG égal à celui que doit faire la route avec la direction du vent; & le rayon xG indiquera le point où doit se terminer la route. Mais il me paroît que nous avons assez examiné le mouvement du Vaisseau en général: il nous faut maintenant discuter en particulier les modifications qu'y apportent les différentes formes de la carène & la diverse disposition de routes les autres parties.

TROISIE'ME



TROISIÈME SECTION.

Du Vaisseau considéré par rapport à la propriété qu'il doit avoir de bien gouverner, tant par le moyen du Gouvernail, que par le moyen des Voiles.

CHAPITRE PREMIER.

De la situation des Mâts, de leur nombre, & de l'équilibre qu'il doit y avoir entre les Voiles de la Prouë & de la Poupe.

I.

LE principe établi dès les commencemens de ce troisième Livre touchant l'égalité & l'oposition parfaite qui doivent se trouver entre les impulsions du vent & de l'eau, suffit pour nous mettre en état d'assigner d'une manière sûre la place des mâts. Si on n'en veut donner qu'un seul au Navire, il faut nécessairement l'arborer dans le point C (Fig. 67.) qui est l'intersection de la direction du choc de l'eau dans les routes obliques, & de la quille: autrement les deux différentes impulsions ne pourroient pas être directement opposées ni parfaitement contraires. On ne doit pas craindre que ce point change de place dans chaque route, puisqu'on a vû cette vérité importante, que pourvû que l'eau ne frappe que les mêmes parties de la

Fig. 67.

O o o

Fig. 67.
* Voyez
le Chap.
VIII. art.
2. de la 1re.
Sect. de ce
3e. Liv.

prouë, quelque figure qu'elle ait, la direction du choc coupe la quille toujours précisément dans le même endroit. * Mais si au lieu d'un seul mât on veut en mettre plusieurs, il faudra les placer en avant & en arriere du point C, comme en Z & en Y, de maniere que les voiles soient dans un parfait équilibre de part & d'autre de ce point; afin qu'elles fassent précisément le même effet qu'une seule qui y seroit appliquée.

La pluralité des voiles est absolument nécessaire, non seulement parce qu'il n'est pas possible qu'une seule ait assez de largeur; mais encore parce qu'il faut des voiles appliquées aux deux extrémités du Vaisseau, pour pouvoir le faire tourner en toutes sortes de sens, ce qui ne pourroit presque jamais s'exécuter avec une seule. Outre cela si la route devient si oblique que l'eau frappe différentes parties de la prouë, le point C s'approchera de la poupe, peut-être d'une huitième partie de la longueur du Navire; & ce ne fera encore qu'avec le secours de plusieurs voiles, selon qu'on exposera au vent, une plus grande ou une moindre surface de celles de l'avant ou de l'arriere, qu'on pourra rendre leur effort commun ou total directement opposé au choc de l'eau, en les faisant se contre-balancer exactement autour du nouveau point C.

Il est selon cela de la dernière importance de déterminer ce point avec précision. C'est ce qui nous a obligé d'insister dans le Chapitre VI. de la première Section sur la maniere de chercher la situation de la direction FC du choc de l'eau, en partageant la surface de la carène en parties triangulaires sensiblement planes. Lorsqu'on attribue au Navire la figure qu'on lui donne le plus ordinairement, on trouve que la direction FC coupe la quille environ aux deux neuvièmes de sa longueur, à commencer de l'avant, ou à peu près aux cinq seizièmes de toute la longueur du Vaisseau. C'est-à-dire que si la distance BA du haut de l'étambot, au haut de l'étrave est de 160 pieds, la distance CA est d'environ 50; ce qui ne peut pas être parfaitement exact pour tous les Navires, mais ce qui con-

vient au plus grand nombre. Lorsque le Vaisseau sera formé de deux cones joints par leur base, dont l'un servira de prouë & l'autre de poupe, & que le premier sera les $\frac{1}{12}$ de la longueur totale, pendant que le second en sera les $\frac{7}{12}$, & pendant que la plus grande largeur sera le quart de toute la longueur, la distance CA ne sera pas tout-à-fait de 50 parties, dont toute la longueur est de 160; mais d'environ $48\frac{2}{3}$: cette même distance ne sera que de 46 parties, lorsque la largeur DF sera la sixième partie de la longueur AB. Il faut remarquer que toutes ces distances ne conviennent au point C que dans sa premiere situation ou dans les premieres routes obliques, lorsqu'il ne s'est pas encore sensiblement reculé vers la poupe. Si on ne pouvoit pas, au reste, se résoudre pour le déterminer à examiner en détail la figure de chaque prouë, on pourroit le chercher par expérience sur un petit Navire, d'un ou deux pieds de longueur, fait sur la même forme. Il est difficile de conclure la hauteur des mâts des grands Vaisseaux par la hauteur qu'on peut donner aux mâts d'un très-petit; parce qu'il est alors question de la force même des puissances qui agissent, laquelle ne suit pas le raport simple de la longueur ou de la largeur du Vaisseau; au lieu que l'application de la mâture sur différens points de la quille dépend de la seule situation des directions des puissances, laquelle est parfaitement semblable dans les grands & dans les petits Navires. On pourra encore mettre en mouvement dans le Port même le Vaisseau déjà construit, en le tirant par le moyen d'un cordage appliqué au côté de la prouë: ce cordage étant prolongé coupera la quille ou l'axe AB dans le point requis C, comme l'a remarqué M. Camus dans sa Piece sur la mâture, qui est toute pleine de choses utiles.

Aussi-tôt enfin que le point C sera déterminé, on pourra ne placer qu'un seul mât qu'on appliquera dans ce point, ou bien on en mettra plusieurs de part & d'autre, en observant toujours qu'il y ait entre les voiles un parfait équilibre. Si on veut, par exemple, rapprocher le mât qui est

en Y , & le porter à une distance du centre d'effort C ; moindre d'une dixième partie , sans toucher aux autres mâts , il n'y aura qu'à rendre sa voile plus grande dans le même raport qu'on rendra sa distance au point C plus petite. On démontrera dans la suite qu'on doit allonger considérablement les Navires , qui ne sont faits exprès que pour la marche , ou ce qui est équivalent , qu'on doit les retrécir : il faudra en même-tems retrécir leurs voiles ; & on pourroit alors en multiplier le nombre , en mettant quatre mâts verticaux , au lieu de trois , depuis la poupe jusqu'à la prouë , afin de ne pas perdre dans les routes obliques le vent qui passeroit sans cela entre ces voiles trop étroites. Ce n'est que l'expérience qui apprendra si la chose peut s'exécuter commodément. Mais il n'y auroit toujours qu'à faire en sorte que le moment total des unes fût égal au moment total des autres , de part & d'autre du point C.

II.

On peut de cette sorte se dispenser de suivre aussi superstitieusement que le font les Constructeurs , leurs maximes ordinaires. Il est vrai que si leurs regles ne sont pas uniques , elles sont au moins ici presque toujours sûres , & que leur plus grand défaut ne consiste que dans leur simple limitation. Ils auront sans doute d'abord placé le mât du milieu ou le *grand mât* vers le point G ; mais voyant que sa voilure ne servoit point ou ne servoit que très-peu à faire tourner le Navire , ils se sont trouvés obligés d'en mettre d'autres vers l'avant & vers l'arrière , le mât de *misaine* en Z & l'*artimon* en Y ; & enfin à force de les changer de place & de reparer l'équilibre , ils sont parvenus à la disposition actuelle , qui est bonne , mais qui pouvoit être différente d'une infinité de manieres. Le mât de *beaupré* , ce mât panché en avant & qui sort du Vaisseau , s'est introduit ensuite ; parce qu'il arrivoit quelquefois qu'on n'avoit pas encore assez de voiles vers la prouë , par la raison que nous expliquerons ci-après , & qu'on l'a d'ailleurs trouvé commode , pour fixer plusieurs cordages qui soutien-

nent les autres mâts. Si on étoit parti d'un autre terme, Fig. 76. si on avoit, par exemple, commencé à mettre le premier mât vers la prouë, on se trouvoit vraisemblablement amené à un autre arrangement; mais la Pratique, quoique dépourvue de Théorie & quoique grossière, ne pouvoit toujours dans cette rencontre [que bien] conduire, vû la simplicité du sujet qui n'est mêlé de rien d'étranger. Ce n'est pas seulement entre toutes les voiles que l'équilibre se trouve de part & d'autre du point C; il subsiste encore lors qu'on en a serré une partie & qu'on ne laisse que les quatre principales ou les quatre *majeures*; & on en a encore toute l'obligation à l'expérience. Souvent on ne peut porter que ces quatre voiles; & si elles ne se contrebalancoient pas exactement, on ne pourroit pas suivre constamment la même route.

Il est facile de s'assurer de l'équilibre dont nous parlons. La surface de la grande voile & celle du grand hunier dans un Vaisseau du premier rang, est d'environ 9500 pieds quarrés, pendant que celle de la mizaine & de son hunier, est d'environ 8040. Or ces deux étendues sont à très-peu près en raison inverse de leur distance au point C; de sorte que la moindre dimension des voiles de l'avant est exactement recompensée par le bras de levier plus long, auquel elles sont appliquées. Pour le vérifier tout d'un coup, il n'y a, conformément au premier principe de Mécanique, qu'à multiplier chaque étendue par sa distance particulière au point C qui sert d'hypomoclion, & voir si les deux produits ou momens sont égaux. La grande voile est éloignée du point C de $32\frac{1}{4}$ pieds, & la mizaine à très-peu près de $38\frac{1}{2}$ pieds; ce qui donne 306120 pour le produit ou pour le moment de la première, & 309540 pour celui de la seconde.

III.

On peut sans doute retrecir très-considérablement les Navires, avant qu'il soit permis d'augmenter le nombre de leurs mâts: mais en poussant le retrecissement encore

Fig. 67. plus loin, les voiles qui seront aussi moins larges, seront moins sujettes à s'embarasser ; & rien n'empêchera alors d'arborer quatre mâts verticaux, comme on l'a déjà dit. Dans ce cas il faudroit rapprocher le mât de misaine Z le plus près qu'il se pourroit de l'extrémité A de la prouë ; & on mettroit deux grands mâts, l'un vers P en avant, s'il étoit possible du Point C, & l'autre vers Q en arriere, & même au-delà du milieu du Navire. Les voiles de ces trois mâts, du mât de misaine arboré en Z, mais rapproché de la prouë, du premier grand mât placé en P, & du second en Q, se mettroient exactement en équilibre autour du point C, ou ce qui revient au même, on rendroit le moment des deux premières parfaitement égal à celui de la troisième ; & on observeroit en même tems, autant qu'on le pourroit, de faire l'intervale PQ un peu plus grand que l'intervale PZ, de le faire plus grand à peu près dans le même rapport, que la somme des largeurs des deux grandes voiles, seroit plus grande que la somme de la premiere grande voile & de la misaine. Cette condition est nécessaire, comme il est assez évident ; afin que les voiles reçoivent le plus de vent qu'il est possible dans les routes obliques, sans se l'intercepter les unes aux autres. Enfin l'artimon s'arboreroit toujours en Y, ou on le reculeroit un peu plus vers la poupe ; & ses voiles serviroient toujours à suplérer l'équilibre dans les routes très-obliques, lorsque l'eau commence à fraper la partie postérieure de la carène, & que le point C s'approche considérablement du milieu du Navire. Les voiles du mât de beaupré conserveroient aussi toujours leur usage qui est tout contraire ; il suffiroit de diminuer un peu leur étendue.

Si on vouloit traiter la chose en rigueur, sans avoir égard à la commodité des Marins, qui ne peuvent pas manquer de trouver plus de difficulté à la manœuvre, à mesure qu'il y a un plus grand nombre de différens mâts, il ne faudroit se borner ni à quatre mâts verticaux ni à cinq, mais en déterminer le nombre, de même que l'aplication, de la maniere suivante. Après avoir rapproché la misaine DE

(Fig. 90.) le plus près de l'extrémité A de la prouë qu'il seroit possible, & réglé sa largeur sur celle qu'à le Navire dans ce même endroit, on lui feroit faire avec la quille, le plus petit angle ACE qui convient pour aller *au plus près*. On connoîtroit la quantité de cet angle, ou en examinant ce qui se passe dans d'autres Navires, ou bien en se conformant aux solutions que nous avons données dans les deux derniers Chapitres de la Section précédente; & on trouveroit en même tems le plus petit angle VCE que doit faire la direction du vent avec la voile. Quant au moindre angle total VCA du vent & de la quille, il seroit de 45 degrés, si le Navire étoit infiniment peu large, & il doit être d'environ 55 degrés dans les Navires actuels. Tout cela supposé du bord D de la misaine qui est sous le vent, on tireroit la parallele Dv, à la direction du vent; & il faudroit rapprocher assez le second mâât pour que la voile LM, dont la largeur seroit aussi réglée sur celle du Navire, vint se terminer en M à cette parallele Dv. Par le bord L de la seconde voile, on conduiroit une nouvelle parallele Lu à la direction CV; & on placeroit le troisième mâât de maniere que le bord de sa voile qui est au vent, vint se rendre à cette parallele. On continueroit enfin de cette sorte, en multipliant les mââts, jusqu'à ce qu'il y en eût assez pour que l'effort total du vent s'exerçât sur une direction parfaitement oposée à celle du choc de l'eau; ou ce qui revient au même, pour que toutes les voiles se trouvassent en équilibre de part & d'autre du point de la quille par lequel passe l'axe de ce dernier choc. Il est évident que cette disposition oblige d'augmenter le nombre des mââts ou des voiles à mesure qu'on diminue la largeur du Navire: lorsque cette largeur étoit fort grande, trois mââts ou même deux suffisoient; mais il faudroit en augmenter le nombre à l'infini, si on pouvoit rendre les Navires infiniment étroits.

C H A P I T R E I I.

De la figure qu'il faudroit donner aux Vaisseaux pour qu'ils gouvernassent parfaitement bien par le moyen des voiles.

I.

IL nous faut examiner maintenant les accidens qui doivent arriver au Vaisseau , lorsqu'on altère l'équilibre entre ses voiles ; soit lorsqu'on en ferre quelqu'une , soit lorsqu'on en expose au vent quelqu'une de plus : il est clair que le Navire doit changer de route en obéissant au plus grand effort. C'est l'art de le faire ainsi tourner en toutes sortes de sens qui constitue la partie de la Manœuvre que les Officiers cultivent avec le plus de soin ; parce qu'elle leur est d'une nécessité absolue dans les combats ; & c'est cette même partie qui a été traitée avec succès par le P. Hoste. Il semble que le retranchement ou l'addition d'une voile doit infailliblement produire cet effet, de faire tourner entièrement le Navire ; de même qu'aussi-tôt qu'on touche un peu à un des poids qui sont en équilibre , on fait trebucher la balance. Mais le Vaisseau n'est pas toujours dans une parfaite indifférence à se tourner dans toutes sortes de sens , & cela parce qu'il affecte de lui-même une certaine situation par rapport au choc de l'eau. C'est ce qui trouble les regles, & ce qui empêche souvent l'effet auquel on s'attendoit , faute d'avoir présente cette considération.

Au lieu d'une seule voile , supposons que toutes les voiles soient ferrées & qu'elles le soient tout à coup. Il est évident que le Navire ne continuera pas à avancer sur la même ligne jusqu'à la dernière extinction de son mouvement : comme la direction IC (Fig. 90.) du choc de l'eau sur la proue passera en avant du centre de gravité G , la proue

Fig. 90.

prouë flechira d'abord ; & le Navire tournera en présentant la prouë A un peu plus au vent. Ce premier effet du choc de l'eau est infaillible ; mais il en arrivera un tout contraire un instant après. Le Vaisseau par son détour donnera occasion à l'eau de fraper toute la partie postérieure de la carène ou toute la partie du flanc qui est du côté de la poupe , & cette impulsion fera revenir le Vaisseau avec force & avec vitesse à sa premiere situation , & le fera passer au-delà. Ce second mouvement, quoique tout-à-fait contraire au premier, en est cependant une suite & un effet : car si le Vaisseau ne tournoit pas d'abord dans le premier sens & marchoit toujours précisément sur la même ligne , l'eau ne fraperoit que les mêmes parties de la carène. Mais ce qu'il y a encore de plus embarrassant , & ce qui étonne tous les jours les Marins , qui voyent quelquefois que leur Navire gouverne & que quelquefois il ne gouverne pas ; c'est que le second effet ne suit le premier, que lorsque le premier a été porté jusques à un certain terme ; & cela dépend non-seulement du plus ou du moins de promptitude avec lequel on a operé le changement des voiles ; mais aussi de l'instant précis auquel on l'a fait.

II.

Il est clair que le moyen infaillible & l'unique moyen de remedier à cet inconvenient, c'est de faire en sorte que la direction IC du choc de l'eau dans les routes obliques, passe toujours exactement par le centre de gravite G. Alors le choc de l'eau ne tendra plus à faire tourner le Navire , lequel étant dans une parfaite indifferance pour tous les états, obéira avec facilité à tous les divers mouvemens qu'on voudra lui imprimer. C'est ce qui a mis les Constructeurs dans la nécessité de grossir l'avant de leur Vaisseau, quoiqu'ils alleguent un autre motif & même fort different de cet usage. Tant que la prouë A a été fort aiguë & de même longueur que la poupe, il est arrivé dans les premieres routes obliques, ou lorsque le Navire a suivi une ligne GH peu differente de la quille, que la direction IC, selon laquelle s'est exercé le choc de l'eau contre la prouë

& contre le flanc de la carène, a été fort éloignée du centre de gravité G : & le choc de l'eau a donc fait un continuel effort, & un effort fort grand, pour faire tourner le Navire. Mais aussi-tôt que la prouë a été racourcie ou rendue plus grosse, comme dans la Fig. 91; la direction IC s'est rapprochée du centre de gravité; en même tems que ce point a fait aussi quelque chemin vers l'avant, & la direction IC passant ensuite par le centre de gravité ou à peu de distance de ce point; quelque grand qu'ait été le choc de l'eau, il n'a presque point travaillé à faire tourner le Navire d'un côté ou d'autre. Cette force est toujours opposée au mouvement du sillage, comme cela ne pouvoit pas manquer d'arriver dans un milieu résistant: mais son opposition n'a que peu blessé l'indifférence parfaite du Vaisseau à l'égard d'une situation ou d'une autre.

Fig. 90. &
91.

Fig. 91.

Quelquefois dans les routes obliques, lorsque nos Vaisseaux s'inclinent beaucoup, la partie actuellement sumergée de leur carène se trouve avoir une figure fort irrégulière. Le haut de la prouë étant plus renflé que le bas, le côté de l'inclinaison devient plus gros, & l'autre au contraire devient plus maigre; de sorte que la partie sumergée prend alors la figure $BiAk$. Cette irrégularité étant cause que le côté de la prouë vers i reçoit plus d'impulsion, & que cette impulsion a pour direction une ligne presque perpendiculaire à la quille, produit presque toujours le même effet, que lorsque la prouë est trop aiguë; & la direction IC du choc se transportant en ic , se trouve à une plus grande distance du centre de gravité G . C'est par cette raison que la plus grande partie de nos Vaisseaux sont *raviers* ou qu'ils ont trop de facilité à venir au vent. Aussi-tôt qu'ils s'inclinent beaucoup, le choc de l'eau selon la direction ic agissant avec une grande force relative ou un grand moment, la prouë doit céder, & doit avancer du côté du vent vers V . Presque tous les Marins attribuent cet effet à la hauteur de la poupe qui sert de voile & qui est jettée sous le vent par son impulsion. Mais il faut certainement que cet effet ait une autre cause & qu'il ait

LIVRE III. SECTION III. CHAP. II. 483
celle que nous disons, puisqu'il a également lieu dans les Chaloupes.

Quoiqu'on doive regarder cette disposition comme un défaut, aussi-tôt qu'elle va trop loin, on peut néanmoins en tirer parti, & c'est ce qu'il seroit à propos que tous les Marins sçussent. M. de Radoüay dans une rencontre très-pressante, fit heureusement usage de cette remarque, qui est dûe à M. le Chevalier de Goyon. Son Navire se perdoit infailliblement, à ce qu'il nous assure, si pour le faire *arriver* ou obéir aux voiles de la prouë en tournant, il n'avoit fait passer la plus grande partie de son équipage du côté du vent, pour faire diminuer l'inclinaison de l'autre côté. Lorsqu'on veut qu'un Navire qui fait route & qui ne sent pas assez son gouvernail, se détourne vers la droite ou vers la gauche, il faut toujours, vû les gabaris qu'employent actuellement les Constructeurs, le faire incliner davantage du côté opposé, soit par le poid de l'équipage, soit par quelqu'autre poids considérable dont on puisse se servir avec promptitude. C'est ce que M. le Chevalier de Goyon avoit remarqué par cette sagacité naturelle dont nous avons déjà parlé, avec laquelle il faisoit sans cesse de nouvelles tentatives dans les Vaisseaux qu'il commandoit; & on voit maintenant la raison assez cachée de cette pratique singulière. On voit aussi qu'elle ne doit réussir que dans les Vaisseaux d'une certaine forme qu'il sera toujours facile de distinguer, aussi-tôt qu'on sçaura déterminer la direction du choc de l'eau sur la prouë: d'autres Navires pourroient avoir la propriété toute opposée.

Pour revenir à la grosseur de la prouë, il est certain que l'expérience, quoique grossière, a tellement ici avancé la spéculation que si les Constructeurs se sont trompés sur le droit, ils ne se sont pas au moins trompés sur le fait, & qu'ils ont eu raison de grossir l'avant du Navire; quoiqu'il ne soit point vrai qu'il fende ensuite l'eau avec plus de facilité. Ils ont rapporté pour prouver une prétention si étrange l'exemple des poissons qui sont effectivement toujours plus gros par la tête que par la queue; ils ont

Ppp ij

ajouté que lorsqu'on remorquoit un mât, on le faisoit toujours aller le gros bout le premier. Ces prétendues raisons ont eu assez de crédit pour se faire adopter par quelques Mathématiciens, qui n'ont pas remarqué que lorsque l'Auteur de la nature a créé les poissons, il a voulu en faire des animaux; qu'il a voulu leur donner une tête, un estomac, &c. & qu'il n'est nullement certain qu'ils aient la forme la plus propre pour fendre l'eau, puisque cet avantage a pû être sacrifié en partie à quelqu'autre que nous ne connoissons pas. Le mât qu'on remorque ne prouve encore rien: j'ai toujours remarqué qu'on ne se déterminoit à faire avancer l'extrémité la plus grosse la première, qu'afin que le cordage qui étoit lié sur le mât, ne glissât pas. Mais enfin nous pouvons concilier tout; en disant qu'il est à propos de donner à la prouë une certaine grosseur & presque toujours plus de grosseur qu'à la poupe, non pas afin que le Vaisseau singe mieux; car nous sommes surs que c'est tout le contraire, mais afin qu'il gouverne avec plus de facilité. Il faut malheureusement renoncer un peu au premier de ces avantages pour jouir un peu plus de l'autre; & comme nous n'avons pas l'art de les balancer, parce qu'ils sont de différens genres, nous sommes obligés d'apprendre de l'expérience, le partage le plus convenable qu'on peut faire entr'eux.

III.

Cela ne nous empêchera pas d'indiquer ici ou de chercher quelques figures qui doivent avoir la propriété parfaite de bien gouverner. On doit mettre dans le premier rang, les Navires qui ont la forme d'un parallépipède rectangle, comme l'Arche de Noé, tels que sont à peu près les Navires Chinois. Car la direction du choc de l'eau sur tous les côtés de la carène, passe par le centre de gravité, & laisse par conséquent le Navire à lui-même ou dans une parfaite indifférence. Ce doit être la même chose dans les routes obliques que dans la route directe. La direction du choc de l'eau passant toujours exactement par le même

point, cette force ne tend à alterer la situation du Navire ni d'un côté ni de l'autre; & aussi-tôt donc qu'on touche aux voiles de l'avant ou de l'arrière, rien n'empêche le Vaisseau de tourner & d'obéir. On ne compte pas ici pour un obstacle la pesanteur du Vaisseau ou plutôt son inertie ou cette force de persistance dont nous avons eu occasion de parler à la fin du livre précédent; car elle ne résiste qu'à proportion qu'elle se laisse vaincre: nous aurons cependant le soin d'examiner attentivement ses effets. Mais d'un autre côté la figure d'un parallépipède rectangle n'est pas propre pour le sillage, en même tems qu'elle est sujette à une grande dérive; & on peut dire la même chose de toutes les autres formes qui donneront au Vaisseau l'avantage de mieux gouverner.

On s'en convaincra parfaitement, en considérant un Navire dont l'avant & l'arrière soient coniques, tels que les représente la figure 92. Lorsque nous supposons que la proue est un cône, ce n'est pas dans le seul dessein de rendre nos recherches plus simples, c'est parce que cette figure ne diffère pas extrêmement de celle qui fend l'eau avec la plus grande facilité. Si on partage par la pensée la surface de cette proue FEAD en une infinité de triangles, comme FAF, dont la pointe soit au sommet A du cône, le choc de l'eau sur chaque de ces triangles, se réunira dans son centre de gravité I qui sera au tiers de sa hauteur; & si on élève de chaque de ces centres des perpendiculaires IC à la surface des triangles, elles représenteront les directions particulières du choc, & elles viendront toutes rencontrer l'axe AB dans un même point C. Pour déterminer la distance AC de ce point à l'extrémité A de la proue, il n'y a qu'à considérer que les triangles rectangles FHA & CIA sont semblables, & faire cette analogie; AH est à AF comme AI, qui est les deux tiers de AF, est à AC. Ainsi nommant a la longueur AH de la proue, & x la demie largeur FH, ce qui nous donnera $AF = \sqrt{a^2 + x^2}$, nous aurons en caractères algébriques $\frac{2a^2 + x^2}{3a}$ pour la valeur de AC.

Fig. 92.

Fig. 91.

Il n'est donc maintenant question, si l'on veut donner au Navire AB formé de deux demi-cones, la propriété complete de bien gouverner, que de faire en sorte que le centre de gravité C du tout, soit à la même distance $\frac{2a^2 + 2x^2}{3a}$ du point A. Le centre de gravité particulier de chaque cone est au quart de sa hauteur, comme on le prouve en Mécanique : le point K est le centre de gravité du cone de la prouë, & L le centre de gravité du cone de la poupe ; & HK est le quart de HA, de même que HL est le quart de HB. Le centre de gravité commun C du tout partage la distance LK d'un centre de gravité particulier à l'autre reciproquement aux solidités des deux cones, qui à cause de la même base, sont en même raison que les axes HA & HB, & que leurs mêmes parties aliquotes HK & HL. Ainsi il n'y a qu'à transporter HK en LC, ou HL en KC, & nous aurons en C le centre de gravité commun ; c'est-à-dire, que si nous nommons y toute la longueur AB du Navire, ce qui nous donnera $y - a$ pour HB, nous n'avons qu'à joindre le quart $\frac{1}{4}y - \frac{1}{4}a$ de HB, avec $AK = \frac{1}{4}a$, & il nous viendra $\frac{1}{4}y + \frac{1}{2}a$ pour la distance CA du centre de gravité C à l'extrémité A de la prouë. Or c'est cette distance qui doit être égale à $\frac{2a^2 + 2x^2}{3a}$, puisqu'on veut que le centre de gravité concoure avec le point C où la direction du choc de l'eau coupe l'axe AB ; nous avons donc l'équation $\frac{1}{4}y + \frac{1}{2}a = \frac{2a^2 + 2x^2}{3a}$. Supposé maintenant que le rapport de la longueur AB du Navire à la largeur DF soit donné & exprimé par m & n, nous pouvons faire cette analogie, $m | n || y | 2x$, & nous obtiendrons l'équation $2mx = ny$ qu'il ne reste plus qu'à introduire dans l'autre, pour avoir $\frac{mx}{2n} + \frac{1}{2}a = \frac{2a^2 + 2x^2}{3a}$. Mais on tire de cette dernière la formule $x = \frac{3ma}{8n} \pm a\sqrt{\frac{m^2 - 16n^2}{64n^2}}$ qui nous apprend la relation de la longueur a de la prouë à la demie largeur HD ou HF.

Dans les cas où la longueur du Navire sera triple de sa

largeur, on aura à la place de m & de n les nombres 3 & Fig. 92.

1, & la formule précédente se réduira à $x = \frac{2}{3}a + a\sqrt{\frac{65}{64}}$. Supposé que a ou HA soit de 100 parties, la demie largeur HD ou HF sera d'environ $212\frac{3}{4}$, & l'angle CAF de presque 65 degrés. L'angle DAF qui est double, sera de plus de 129; & on juge assez qu'une prouë si obtuse éprouveroit de la part de l'eau une très-grande résistance; elle en éprouveroit presque deux fois plus, que la prouë des Flutes construites le plus grossièrement.

Ainsi il n'est que trop vrai qu'il y a une espece d'incompatibilité entre les deux propriétés du Navire, de bien gouverner par le moyen des voiles & de bien marcher, & qu'il faut, comme nous l'avons dit, renoncer un peu à l'une, afin de ne pas perdre tout-à-fait l'autre. Il est déjà comme décidé que les Vaisseaux du premier & du second rang ne doivent pas disputer la promptitude du sillage aux Frégates, & qu'ils ne sont pas destinés à les poursuivre. Leur principal usage est de naviger en corps d'Armée, & de combattre en ligne. Ainsi on peut sans inconvénient être attentif à leur donner l'avantage de bien gouverner, en avançant un peu plus leur plus grande largeur ou leur centre de gravité vers la prouë. Dans les Frégates on exige au contraire la promptitude de la marche; il faut donc ne pas faire la prouë si obtuse, & reculer un peu plus vers l'arrière la plus grande largeur; ce qui fera aussi qu'elles dériveront moins. Mais ce changement ne doit jamais être que peu considérable, & tout au plus que d'une vingt-quatrième partie de toute la longueur du Vaisseau; afin de ne pas trop préjudicier à quelques unes des autres propriétés.



C H A P I T R E I I I .

De l'endroit où le Vaisseau doit avoir sa plus grande largeur , pour être plus sensible à l'effet du Gouvernail.

I.

LORSQU'IL ne s'agit pas de changer de route & qu'on veut simplement faire revenir le Vaisseau à sa première direction, dont le choc irregulier des vagues l'avoit détourné, on ne se sert que du Gouvernail. La Mer étant continuellement agitée, l'équilibre se trouve sans cesse alteré, & il faut pour le rétablir faire un usage continuel de cet instrument. Le Navire se meut en effet presque toujours par élans; on le fait revenir inutilement à sa vraie route, son mouvement le transporte de l'autre côté; ce qui met les *Timoniers* dans un travail qui ne cesse jamais. Nous allons examiner l'endroit du Navire, où il faut mettre sa plus grande largeur, pour que sa propre pesanteur ou son inertie favorise l'action du gouvernail le plus qu'il est possible.

Plusieurs Mécaniciens ont déjà découvert que lorsqu'une puissance apliquée à l'extrémité d'une verge également pesante par tout, travaille à la faire tourner, cette verge tourne sur un point qui est aux deux tiers de sa longueur; & nos Auteurs de Marine, sans remarquer que le cas pouvoit être différent, se sont hâtés d'en inférer que l'endroit le plus gros & le plus pesant du Vaisseau, devoit être au tiers de sa longueur vers la prouë. C'est vers cet endroit qu'on a mis pendant long-tems la plus grande largeur du Navire; d'où on ne l'a depuis reculée peu à peu vers le milieu, qu'afin de rendre la prouë plus aiguë & de diminuer la résistance de l'eau. Mais il est certain qu'on a
encore

encore aidé par ce changement l'action du gouvernail; & que c'est ici une de ces circonstances où on a mieux fait de se laisser absolument conduire par l'expérience, que de s'en rapporter à une Théorie demeurée imparfaite, parce qu'elle n'avoit pas été poussée assez loin.

II.

Afin de mieux représenter le Vaisseau & son mouvement de tournoyement, nous nous imaginerons que la regle AB (Fig. 93.) est chargée d'un poids en D. Nous cher- Fig. 93. cherons d'abord sur quel point C elle doit tourner, lorsqu'une puissance appliquée en B pousse son extrémité de B en *b*; nous ferons ensuite changer le poids D de place en le faisant glisser le long de la verge, & nous chercherons en quel endroit il faut l'arrêter, pour que l'angle de conversion B*Cb* devienne un *maximum*, quoique la puissance qui agit en B soit toujours la même. Lorsque la regle AB tourne sur le point C, chaque de ses parties prend plus ou moins de mouvement, selon qu'elle est plus ou moins éloignée de ce point, & l'*inertie* ou la force de persistance de toutes les parties BC fait le même effet qu'une puissance qui agiroit selon EF dans le sens contraire au mouvement; en même tems que l'*inertie* des parties CA fait le même effet qu'une puissance qui agissant dans le point K, auroit KH pour direction. Or ces deux puissances doivent faire équilibre avec la puissance appliquée en B, qui produit tout le mouvement. Cette dernière puissance communique plus de vitesse au point B qu'à tous les autres qui restent en arriere par leur inertie; & l'obstacle que les parties de BC mettent à recevoir du mouvement, fait que la verge tourne sur le point C, & que l'extrémité CA se meut dans un sens contraire. Il est clair après cela, en y faisant un peu de reflexion, qu'il n'y a qu'un équilibre parfait entre la résistance que cause l'inertie des deux parties CA, CB, & la puissance appliquée en B, qui puisse empêcher la verge, ou de recevoir plus de mouvement, ou de tourner

Fig. 93: sur un autre point. Nous ne mettrons point par tout ici, au nombre des obstacles au mouvement de la regle, la résistance que peut faire le milieu : car comme il ne s'agit que du seul commencement du mouvement, ou des premiers degrés de vitesse qui sont, si on le veut, infiniment petits, la résistance du milieu doit être nulle.

Chaque partie de BC recevant un mouvement proportionnel à sa distance au point C, nous pouvons représenter le mouvement de tout BC par le triangle BC*b*; & le mouvement de tous les points de l'autre portion CA par le triangle AC*a*. Chaque point résiste à proportion du mouvement qu'il prend; de sorte que les deux triangles BC*b* & AC*a* ne représentent pas moins les quantités de la résistance que les quantités du mouvement. Si on considère de plus chaque de ces résistances, comme réunie dans un seul point, ce sera dans le centre de gravité de chaque triangle qui la représente, & ce sera par conséquent en E & en K aux deux tiers de CB & de CA, à commencer au centre de conversion. Mais puisque la résistance de BC selon EF, produit le mouvement de CA, & que nous pouvons prendre le point B pour hypomoclion, parce que l'équilibre est parfait entre la puissance appliquée en B & les deux résistances qui s'exercent selon EF & KH; il est évident que la résistance de BC multipliée par BE, doit être égale à la quantité du mouvement que reçoit CA multipliée par BK. Il est ordinairement plus naturel de prendre pour hypomoclion le point du levier qui ne change point de place; & on y est obligé lorsque le point d'appui est inébranlable, & lorsqu'il est capable d'ailleurs de toute la force qui est nécessaire : mais dans l'équilibre parfait de trois ou d'un plus grand nombre de puissances qui suspendent totalement l'effet les unes des autres, on peut toujours faire servir laquelle de ces puissances on veut d'hypomoclion, comme il est facile de s'en assurer. Il y a même presque toujours de la commodité à en préférer une; parce que son moment se trouvant ensuite nul, on est dispensé d'y avoir égard. Plaçant dans la recherche

présente l'hypomocion en B, le moment de la résistance de BC est égal au moment du mouvement de CA, & il n'y a rien à considérer de plus, lorsqu'il n'y a point de poids en D: mais il est clair que la résistance que forme le mouvement de ce corps, doit aider ici à celle de la partie BC.

Fig. 93

III.

Cela supposé, nous n'avons qu'à nommer a la longueur de toute la règle AB, & représenter sa pesanteur par la même lettre. Si nous nommons en même tems b la pesanteur du corps D; m la distance BD à l'extrémité B; u la vitesse Bb, & enfin x la distance BC du centre de conversion à la même extrémité: nous aurons $\frac{1}{2}xu$ pour l'étendue du triangle CBb, & $\frac{1}{2}a - \frac{1}{2}x \times \frac{u \times a - x}{x}$ moitié du produit de CA = $a - x$ par Aa = $\frac{u \times a - x}{x}$ pour celle du triangle ACa. Et si nous multiplions la première par BE = $\frac{1}{2}x$ & la seconde par BK (= BA - AK) = $\frac{2}{3}a + \frac{1}{3}x$, nous aurons les momens $\frac{1}{6}x^2u$ & $\frac{1}{3}a^3 - \frac{1}{2}a^2x + \frac{1}{6}x^3 \times \frac{u}{x}$ qui seroient égaux; sans qu'il faut joindre au premier le moment de la résistance du corps D. Nous aurons d'abord la vitesse de ce corps par cette analogie BC = x | Bb = u || DC = $x - m$ | $x - m \times \frac{u}{x}$; multipliant ensuite cette vitesse par la pesanteur b , nous aurons $\overline{x - m} \times \frac{bu}{x}$ pour la quantité du mouvement de ce corps & de la résistance que produit son inertie, & multipliant cette résistance par BD = m , nous en aurons le moment $\overline{bmx} - \overline{bm^2} \times \frac{u}{x}$, qui doit être ajoutée au moment $\frac{1}{6}x^2u$ de la résistance de la partie BC; & nous aurons l'équation $\overline{bmx} - \overline{bm^2} \times \frac{u}{x} + \frac{1}{6}x^2u = \frac{1}{3}a^3 - \frac{1}{2}a^2x + \frac{1}{6}x^3 \times \frac{u}{x}$ dont nous tirons la formule $x = \frac{\frac{1}{3}a^3 + bm^2}{\frac{1}{2}a^2 + bm}$ qui nous apprend en termes connus, com-

Qqij

Fig. 93. bien le centre de conversion C est éloigné de l'extrémité B de la verge AB.

I V.

On peut faire différentes remarques sur cette formule : on voit, par exemple, qu'il y a deux cas où le corps D, quelque pesant qu'il soit, n'empêche pas le centre de conversion d'être aux deux tiers de la règle : c'est lorsqu'il est à l'extrémité B, à laquelle la puissance motrice est appliquée, ou lorsqu'il est dans le centre de conversion même aux deux tiers de la règle. Car qu'on suppose $m=0$, ou $m=\frac{2}{3}a$, la quantité $x = \frac{\frac{1}{3}a^3 + bm^2}{\frac{1}{3}a^2 + bm}$ se réduit alors également à $x = \frac{2}{3}a$; sans qu'il importe que la pesanteur b du corps D soit d'une grandeur ou d'une petitesse énorme par rapport à celle de la règle : ce que la formule nous indique, est d'ailleurs évident. Mais il est maintenant question de chercher pour chaque position que peut avoir le poids D, la quantité de l'angle de conversion BCB. Nous représenterons pour cela la puissance qui agit en B par le mouvement d'un corps d'une pesanteur ou d'une masse connue p qui vient frapper l'extrémité B avec une vitesse constante V , & nous supposerons que le choc se fait à la manière des corps absolument dénués d'élasticité; c'est-à-dire, que nous considérerons le corps & la règle, ou comme mols ou comme infiniment durs : car c'est la même chose, lorsqu'il s'agit de la communication des mouvements.

La quantité de mouvement que reçoit la règle est le produit de sa masse ou de sa pesanteur a par la vitesse que prend son centre de gravité qui est au milieu M de sa longueur. Certaines parties se meuvent plus vite; d'autres plus lentement; mais la vitesse du centre de gravité, est la vitesse moyenne, & on peut toujours sans se tromper l'attribuer à tout le corps. Ainsi nous n'avons qu'à faire cette analogie; $BC=x \mid Bb=u \mid \mid CM=x-\frac{1}{2}a \mid u-\frac{au}{2x}$, nous au-

rons $u - \frac{au}{2x}$ pour la vitesse que prend la verge, & la multipliant par a , nous aurons $au - \frac{a^2u}{2x}$ pour la quantité de mouvement reçue. Nous avons déjà trouvé la quantité de mouvement reçue par le corps D; c'est $bu - \frac{bmu}{x}$, qu'il n'y a qu'à ajouter à celui de la regle, & nous aurons le mouvement total $au + bu - \frac{a^2u}{2x} - \frac{bmu}{x}$ communiqué par la puissance qui agit en B. Or ce dernier mouvement doit être égal à celui qu'à perdu la puissance ou le corps p qui la représente, & qui n'a après le choc que la vitesse u , au lieu qu'il avoit auparavant la vitesse V . Cette égalité doit être parfaite: car ce n'est pas ici le cas où un obstacle inébranlable, qui sert d'hypomoclion, absorbe quelquefois une partie du mouvement; toute la regle se meut ou peut se mouvoir, & le mouvement se fait outre cela dans le sens perpendiculaire à sa longueur, ou dans le même sens qu'agit la puissance B, sans qu'il y ait aucune réduction ou décomposition de force à faire.

Pour mieux s'en convaincre, on n'a qu'à considérer que lorsqu'un corps vient frapper une regle dans un certain point, le centre de mouvement que reçoit cette regle, & en même tems tous les poids dont elle est chargée, se trouve nécessairement dans le point frappé. Car il faut toujours que le mouvement de la regle soit en équilibre de part & d'autre de ce point; autrement une des extrémités de la regle prendroit plus ou moins de vitesse: ou pour dire encore la même chose en d'autres termes, le point frappé doit toujours devenir le centre de percussion de la regle en mouvement & de ses poids. Ainsi la direction moyenne sur laquelle s'exerce le mouvement perdu du corps choquant, ne diffère pas de la direction du mouvement acquis de la regle, c'est précisément la même ligne. Supposé donc qu'on prenne pour hypomoclion le point sur lequel tourne la regle, ou qu'on prenne tout autre point imaginable, les deux directions en seront toujours également éloignées, &

Fig. 93. par conséquent les deux forces ne peuvent pas manquer d'être exactement égales ; le mouvement perdu d'un des corps, & le mouvement acquis de l'autre. Il suit de là que pV désignant le mouvement qu'avoit d'abord le corps p , & pu celui qui lui reste, son mouvement perdu sera désigné par $pV - pu$; & que nous aurons l'équation $pV - pu = au + bu - \frac{a^2u}{2x} - \frac{bmu}{x}$ dont on tire $u = \frac{pVx}{a + b + px - \frac{1}{2}a^2 - bm}$.

Formule qui nous marque en grandeurs entierement connues, puisque nous avons déjà trouvé x , la quantité de la vitesse u que prend l'extrémité B de la verge.

V.

Mais nous ne devons pas faire de cette vitesse l'unique objet de notre recherche ; c'est l'angle de conversion BCb qu'il s'agit maintenant de découvrir ; & il est évident que la grandeur de cet angle dépend de la grandeur de la vitesse Bb , & de la petitesse de BC . Plus la vitesse Bb sera grande, tout le reste étant égal, plus l'angle BCb sera grand ; & ce même angle sera encore plus grand, plus la distance BC où les deux côtés qui forment l'angle, vont se rencontrer, sera petite. Cet angle peut donc être représenté par Bb divisée par BC ; & nous aurons pour son expression algébrique $\frac{u}{x} = \frac{pV}{a + b + px - \frac{1}{2}a^2 - bm}$ qui se change en $\frac{pV \times \frac{1}{2}a^2 + bm}{\frac{1}{12}a^4 + \frac{1}{3}a^3b + \frac{1}{3}a^3p - a^2bm + bpm^2 + abm^2}$, lorsqu'on introduit $\frac{\frac{1}{3}a^3 + bm^2}{\frac{1}{2}a^2 + bm}$ à la place de x . Il ne nous reste plus après cela qu'à rendre cette quantité un *plus grand*, en suposant m variable. Je prens la différentielle de cette quantité, & l'égalant à zéro, selon les regles ordinaires, il vient $\frac{+ab^2}{+b^2p} \} m^2 + \frac{+a^3b}{+a^2bp} \} m = \frac{7}{12}a^4b + \frac{1}{3}a^3b^2 + \frac{1}{3}a^3bp$ qui contient la valeur de m qu'on vouloit découvrir, ou la distance BD à laquelle il faut arrêter le poids D, pour que la verge BA tourne avec le plus de facilité qu'il est possible.

Si on suppose que le mobile qui frappe l'extrémité B de la règle, est d'une petitesse indéfinie, & que son action ne soit sensible que parce qu'elle est répétée une infinité de fois, comme cela arrive effectivement à celle de l'eau contre le gouvernail, il faut effacer tous les termes qui contiennent p , & on aura $bm^2 + a^2m = \frac{7}{12}a^3 + \frac{1}{3}a^2b$, dont

on tire $m = -\frac{a^2}{12b} \pm \sqrt{\frac{a^4}{4b^2} + \frac{7a^3}{12b} + \frac{1}{9}a^2}$. Veut-on maintenant que le poids b du corps D soit énorme par rapport à la pesanteur a de la règle; nous aurons $m = a\sqrt{\frac{1}{3}}$; de sorte que si la longueur AB est de 100 parties, il faudra mettre le poids D à presque 58 parties de distance de l'extrémité B. Le poids D au contraire est-il infiniment petit, nous aurons $m = \frac{7}{12}a$; de sorte que si ce corps étoit capable de quelque effet, pendant qu'il est infiniment petit, il faudroit le mettre à $58\frac{1}{3}$ parties. Ce sera encore à peu près la même chose, si on suppose le poids D égal à celui de la règle; car on aura $m = -\frac{1}{2}a \pm a\sqrt{\frac{7}{6}}$ qui est égal à très-peu près aux $\frac{7}{12}$ de BA. Or on peut inférer de-là que la plus grande largeur des Vaisseaux pour qu'ils puissent mieux sentir le gouvernail, ne doit pas être au milieu de leur longueur ni aussi tout-à-fait aux deux tiers; mais à peu près entre ces deux points, ou à environ une douzième partie de toute la longueur plus en avant que le milieu. Nous disons que le Vaisseau doit avoir sa plus grande grosseur dans cet endroit & non pas son centre de gravité. Car excepté le cas qui n'a jamais son application, où le poids D est infiniment grand, par rapport à la pesanteur de la règle BA, le centre de gravité du tout est toujours entre le point D & le milieu de la règle; & lors qu'on mettra la plus grande largeur du Navire D vis-à-vis des cinq douzièmes de sa longueur à commencer de la proue A, le centre de gravité sera aussi toujours plus vers le milieu.

VI.

Il est vrai que la plus grande largeur ne sera pas dans l'endroit où il faut qu'elle soit pour satisfaire à la condition

Fig. 23. que nous avons taché de remplir dans le Chapitre précédent : mais il faut toujours se souvenir qu'il n'est pas possible de concilier les quatre divers avantages qu'on peut avoir actuellement en vûe ; & que ce n'est pas non plus ici le même cas qu'en Geométrie, lorsqu'il s'agit des quantités qu'on nomme *maximum maximorum*. Là le changement de certaines conditions faisant augmenter une grandeur, & la rendant un *maximum*, le changement de quelques autres conditions qui se joignent aux premières, fait encore croître la grandeur & la même grandeur. Ainsi il n'y a qu'à combiner toutes les conditions ou les équations qui les représentent, pour obtenir le *maximum maximorum*. C'est tout le contraire dans les Problèmes qui font maintenant l'objet de notre recherche. Il s'agit de *maximum* de genres tout différens, & qui se nuisent par leur contrariété. Si nous voulons conserver au Vaisseau cette indifférence de situation qui fait qu'il gouverne aisément par le moyen des voiles, il faut porter sa plus grande largeur beaucoup plus vers la prouë ; mais alors nous ferons tort à la propriété qu'il doit avoir d'être sensible au gouvernail, de même qu'à celle de singler avec promptitude, & à celle d'être sujet à peu de dérive ou de déviation dans les routes obliques. Nous avons montré dans la première Section que ces deux dernières propriétés vont toujours ensemble ; d'abord elles sont jointes aussi, pour ainsi dire, d'intérêt avec celle que doit avoir le Vaisseau d'obéir aisément au gouvernail, mais elles s'en séparent à la fin ; puisque pour faire accélérer de plus en plus le sillage, de même que pour rendre la dérive de plus petite en plus petite, il faudroit porter la plus grande largeur beaucoup plus en arrière qu'aux cinq douzièmes de la longueur du Navire, à commencer de l'extrémité de la prouë. On est obligé encore une fois de se prêter plus ou moins à l'une ou à l'autre des quatre conditions, selon les usages auxquels on destine les Navires ; & on pourra pour cela, ainsi que nous en avons déjà averti à la fin du Chapitre précédent, avancer ou reculer la plus grande largeur d'une vingt-

LIVRE III. SECTION III. CHAP. IV. 497
vingt-quatrième partie. Au reste quoiqu'il soit clair qu'on ne doive pas trop presser la comparaison entre le Vaisseau & la regle ou verge pesante; comme on voit néanmoins que les masses ou les pesanteurs les plus différentes qu'on attribue au poids qui la charge, ne font changer que très-peu le point le plus avantageux où il faut l'appliquer, on a ici une forte confirmation, de ce que l'expérience seule, mais aidée d'un long tâtonnement, avoit déjà réussi à déterminer.

CHAPITRE IV.

Méthode de reconnoître si un Vaisseau qu'on se propose de construire gouvernera avec facilité ; ou examen du mouvement que doit prendre un corps que deux puissances tendent à faire tourner en même tems de deux différens côtés.

I.

PUIS qu'on ne doit pas donner aux Vaisseaux la propriété parfaite de bien gouverner, afin de ne pas trop préjudicier à ses autres qualités; on doit au moins examiner s'ils la posséderont dans un degré suffisant, pour les usages ordinaires. La question se réduit à sçavoir, lorsque le Navire est exposé au choc du vent & à celui de l'eau, & que ces deux forces ne sont pas directement contraires, laquelle des deux doit prévaloir. Nous représenterons encore le Vaisseau par une regle AB (Fig. 94.) mais à chaque point de laquelle on attribuera la pesanteur qu'on voudra, & nous la suposerons exposée à l'action de deux puissances extérieures qui agissant perpendiculairement à sa longueur, tendent à la faire tourner en différens sens, l'une en s'exerçant selon la direction Aa & l'autre selon la direction DE. Nous sçavons bien que l'effort du vent sur la voile n'agit pas perpendiculairement à la longueur du Vaisseau,

Fig. 94.

Rrr

Fig. 94. non plus que le choc de l'eau sur la prouë ; mais on peut toujours réduire aisément ces puissances à un effort perpendiculaire , en négligeant la partie qui agit exactement selon la longueur du Navire , & qui ne contribue aucunement à le faire tourner ; de cette sorte la comparaison sera parfaite.

Si les deux puissances appliquées en A & en D sont égales , celle qui sera la plus éloignée du centre de gravité G de la règle doit dominer infailliblement , & la règle tourner sur son centre de gravité G , par la même raison que le Vaisseau dans le roulis , fait ses balancemens autour du même point. La règle AB prenant la situation *ab* , toute la partie GA résiste par son inertie , comme une puissance qui agiroit dans le sens contraire de I en K , conformément à ce que nous avons déjà dit tant de fois , & l'inertie de la partie GB , fait le même effet qu'une puissance qui s'exerceroit selon FH. Or ces deux puissances doivent être en équilibre avec les deux forces motrices qui agissent selon Aa & selon DE ; & puisque ces deux forces motrices sont égales entr'elles , il faut que les deux autres le soient aussi. * Mais il résulte de là que les deux parties GA & GB doivent prendre précisément la même quantité de mouvement , & que toute la règle doit donc tourner sur son centre de gravité.

* Voyez
l'article 1.
& 3. du
Chap. 1.
Sect. 3.
Liv. 2.

Cette propriété est très-remarquable ; qu'aussi-tôt que les deux puissances motrices sont égales , elles font toujours tourner la règle sur son centre de gravité , sans qu'il importe en quel endroit elles soient appliquées. Il n'y a que la quantité du tournoyement qui dépende de cette dernière circonstance ; car si c'est une des conditions de l'équilibre que la somme des deux forces qui agissent d'un côté , soit égale à la somme des deux autres forces qui agissent de l'autre , parce que les directions sont exactement parallèles , il faut encore qu'il y ait égalité entre les momens ; & cette égalité naît du différent rapport qu'ont les résistances produites par l'inertie , avec les forces motrices. Lorsque ces deux dernières forces sont inégales , les deux résistan-

ces doivent l'être pareillement ; & la regle au lieu de tourner sur son centre de gravité , doit tourner sur un autre point. De tout cela il naît différens cas qu'on peut distinguer , en examinant les circonstances de l'équilibre qui doit toujours se trouver entre les quatre forces qui sont ici à considérer. Mais nous allons discuter la chose d'une manière plus simple & qui aplanira extrêmement toutes les difficultés qui peuvent se présenter dans cette recherche.

II.

Nous considérerons les deux forces motrices , dont l'action est simultanée , comme si elles agissoient l'une après l'autre , en ne mettant que le moindre intervalle entre leurs effets successifs. On examinera de cette sorte le tournoyement que chaque puissance cause à part , & on obtiendra à la fin le résultat total ou ultérieur. Nous avons pour cela besoin de deux principes , l'un desquels nous a déjà servi & que nous avons éclairci ; sçavoir , qu'en quelque endroit que soit appliquée la puissance motrice , le centre de gravité de la regle ou du corps sur lequel cette puissance agit , prend toujours la même vitesse ; parce que c'est le chemin que parcourt ce point qui exprime ou qui représente le mouvement que reçoit tout le corps , & que ce mouvement doit être égal à la force employée par la puissance motrice ; & constamment le même , aussi-tôt que la puissance agit avec une vitesse incomparablement grande par rapport à celle que prend le corps dans chaque instant. Le second principe , c'est que plus la force motrice est appliquée proche du centre de gravité de la regle , plus elle la fait tourner sur un point qui en est éloigné , & les deux distances sont toujours en raison inverse l'une de l'autre. Je crois que ce second principe est connu des Mécaniciens , & qu'il a même été déjà établi , quoique sous une face différente , par M. Huguens dans son *Traité de Horologio oscillatorio* ; je n'en suis cependant pas sûr , & c'est ce que je ne puis vérifier maintenant. On croira sans peine que

Rrr ij

je n'ai dans les deserts & sur les montagnes du Pérou , où je travaille à ce Traité , que les seuls Livres qui me sont absolument nécessaires pour mes opérations actuelles , & que je manque de tous les autres qu'on ne connoît pas même dans le País.

III.

* Quoique j'aie vu à mon retour que M. Huguens avoit établi le principe dont il est question , j'ai cru ne devoir rien changer ici.

Fig. 95.

Pour ne pas , dans le doute * , laisser sans quelque explication le principe dont il s'agit , considérons la regle BA (Fig. 95.) pendant qu'elle tourne sur son extrémité B , en prenant la situation Ba. Chaque de ses points , comme F , recevra une vitesse proportionnelle à sa distance au point B ; mais comme nous supposons que cette regle n'est pas par tout également pesante , le mouvement de ses parties ne sera pas proportionel à leur vitesse , mais il sera représenté par les ordonnées FH d'une courbe BHA ; chaque ordonnée étant égale au produit de la pesanteur du point correspondant par sa vitesse , ou ce qui est la même chose par sa distance à l'extrémité B ; & toute l'étendue curviligne ABHA , qui est la somme de toutes les ordonnées , exprimera le mouvement de toute la regle. Ce mouvement est égal au produit de la masse entière par la distance GB de son centre de gravité G à l'extrémité B ; puisqu'on démontre en Mécanique , que si on fait une somme des produits de toutes les parties d'un corps par leur distance à un point qu'on prend pour terme , cette somme est égale au produit de tout le corps par la distance de son centre de gravité commun , à ce point qui sert de terme.

On peut considerer outre cela le mouvement de toute la regle , réuni dans un centre D , lequel doit différer du centre de gravité G ; parce que toutes les parties de la regle , prennent des vitesses différentes ; & il est évident que ce centre doit répondre en D , vis-à-vis du centre de gravité E de l'espace curviligne , qui exprime non-seulement la quantité totale du mouvement , mais qui en marque aussi la distribution par ses ordonnées. Or il est clair

que si une puissance pousse la règle perpendiculairement dans le point D, elle la fera tourner exactement sur son extrémité B : car aussi-tôt que D est le point dans lequel on peut considérer que tout le mouvement se réunit, les quantités de mouvement que prend la règle de part & d'autre de ce point, doivent se contrebalancer parfaitement, de même que les résistances que cause l'inertie ; au lieu que cet équilibre ne subsisteroit plus si la puissance étant toujours appliquée en D, la règle tournoit sur tout autre point que sur l'extrémité B.

Supposons maintenant que la règle tourne sur le point C, & prenne la situation ba. Alors le mouvement de chaque point, comme F, au lieu d'être proportionnel au produit de sa masse par sa distance FB à l'extrémité B, sera proportionnel au produit de sa masse par sa distance FC au centre de conversion C ; ainsi pour représenter le mouvement total de la règle, il faut ajouter à la figure mixtiligne ABHA, une autre figure curviligne AHBIA dont les ordonnées, comme HI, soient proportionnelles au produit de la masse de chaque point F par la ligne constante BC. La pesanteur de chaque point étant multipliée par la ligne BC ; le centre de gravité g de la figure ajoutée AHBI doit répondre exactement vis-à-vis du centre de gravité G de la règle. Et il est clair que le point K où il faut appliquer la force motrice qui doit faire tourner la règle sur le point C, en la poussant perpendiculairement, doit répondre vis-à-vis du centre de gravité de la figure entière ABIA, qui représente le mouvement total de la règle. Or pour déterminer ce centre de gravité commun, ou pour déterminer le point K, il n'y a qu'à partager l'intervale GD compris entre les points G & D qui répondent au centre de gravité des deux figures partiales BHAI & BFAH ; il n'y a, dis-je, qu'à partager GD en raison inverse des deux figures ou des deux lignes CB & BG qui sont en même rapport que ces deux figures ; puisque l'une est le produit de toute la masse de la règle AB par CB, & l'autre le produit de cette même masse par BG.

Fig. 95. Ainsi si une figure est égale à l'autre, CB sera égale à BG, ou CG double de BG, & le point K étant au milieu de GD, l'intervale GD sera aussi double de GK. Si pareillement la figure partielle BHAI est double de la figure BFAH, la ligne CB sera double de BG, & CG en sera triple; mais le point K étant deux fois plus voisin de G que de D, l'intervale GD, qui est constant, sera aussi triple de GK. En un mot, il y aura toujours même raison, entre KG & KD, qu'entre BG & BC; & il y aura donc aussi même raison entre GK & GD, qu'entre GB & GC; ce qui montre qu'à mesure que le centre de conversion C est plus éloigné du centre de gravité G de la regle, le point K où il faut que la force motrice soit appliquée, est plus proche de l'autre côté du centre de gravité, & qu'il s'en approche précisément en même rapport que le centre de conversion s'en éloigne; de sorte que les deux distances sont toujours en raison reciproque.

C H A P I T R E V.

Suite du Chapitre précédent; usage des Principes établis ci-devant pour déterminer la quantité de mouvement de conversion que prend un corps expose à l'action de plusieurs puissances.

I.

Fig. 96. **L**Es principes que nous venons d'établir étant admis, il est facile de prévoir toutes les particularités du mouvement d'une regle qui est sujette à l'action de deux ou d'un plus grand nombre de puissances. Imaginons-nous la regle AB (Fig. 96.) poussée en même tems en A par un agent qui s'exerce selon la direction Aa, & en D par un autre agent qui s'exerce selon DE. On sçait que c'est la même chose quant à l'effet ultérieur, lorsqu'un corps

est exposé à l'action de plusieurs puissances , de supposer Fig. 96. que ce corps a été mû par la diagonale qui est la direction composée de toutes ces puissances , ou de supposer qu'il a cédé successivement à chaque impression particulière l'une après l'autre ; & qu'on trouve toujours qu'il est parvenu dans le même point. Ainsi quoique les deux actions dont il s'agit ici soient simultanées , nous pouvons les considérer chacune à part , sans qu'il importe laquelle nous examinons la première. Je dis donc que la puissance appliquée en A fera tourner la règle sur un certain point C , dont la situation dépendra de la distance AG de la puissance A au centre de gravité G , & que le chemin Gg que parcourra ce même centre de gravité , sera proportionnel à la force absolue de la puissance A , parce que ce chemin représente , comme nous l'avons dit , le mouvement total que reçoit la règle. Plus ce chemin sera grand , plus l'angle de conversion ACa le sera aussi : mais la grandeur de ce même angle dépend en même tems de la distance CG du centre de conversion C au centre de gravité G. Si cette distance est deux ou trois fois plus petite , tout le reste étant égal , l'angle de conversion sera deux ou trois fois plus grand ; de sorte que l'angle de conversion qui suit la raison inverse de CG , suit la raison directe de GA. Or il suit de là , en considérant tout , que cet angle est proportionnel au produit du chemin Gg du centre de gravité par GA , ou ce qui revient au même , qu'il est comme le produit de la puissance A par sa distance GA au centre de gravité G. C'est-à-dire , que nous avons ce Théoreme très-digne de remarque , que *la grandeur de l'angle de conversion d'une règle poussée perpendiculairement à sa longueur , ou que la quantité de son détour est toujours proportionnelle au moment de la puissance par rapport au centre de gravité de cette règle , sans qu'il importe sur quel point la règle tourne ni par quel endroit elle soit poussée.*

Mais aussi-tôt que la règle AB a été transportée en ab par l'effort de la première puissance , elle doit sortir de

Fig. 96. cette situation par l'effort de l'autre qui est appliquée en D ou en d & qui agit selon dE . Plus cette seconde puissance sera voisine du centre de gravité G ou g , plus elle fera tourner la règle ab sur un point c éloigné; & conformément à ce que nous avons déjà dit, le centre de gravité g doit parcourir dans ce second moment un chemin gg , proportionel à la force absolue de la seconde puissance. Ainsi si cette seconde puissance est parfaitement égale à la première, le centre de gravité ne fera autre chose que revenir dans la première place G; & il arrivera donc que la règle n'aura tourné que sur ce point. Car on voit assez que les autres centres de conversion C & c ne sont que fictices & qu'ils ne doivent leur origine qu'à la distinction d'ordre que nous feignons pour notre commodité entre les actions des deux puissances, quoi qu'elles soient parfaitement simultanées. Mais si la seconde puissance qui agit selon dE a plus de force absolue que la première qui agit selon Aa, le centre de gravité g sera transporté plus loin que G, il sera porté jusqu'en g , & la règle ab se trouvera située en ab ; de sorte que l'action mutuelle des deux puissances aura fait passer la règle AB en ab , & l'aura par conséquent fait tourner réellement sur le centre de conversion F.

Ainsi l'angle vrai de conversion, celui qui résulte des deux actions réunies & qui en est l'effet ultérieur, est l'angle AFa ou BFb, lequel, comme on le voit, est la différence des deux angles de conversion ACa & aca que causeroient séparément les deux puissances. Mais par la même raison que le premier angle de conversion ACa est proportionel au moment de l'agent A, ou au produit de sa force absolue par sa distance GA au centre de gravité G, le second angle aca est proportionel au moment de la seconde puissance, ou au moment de sa force absolue par la distance dg ou DG au centre de gravité de la règle; & de là il suit que l'angle réel AFa de conversion, celui qui est produit par la concomitance des deux puissances, est proportionel (parce que ces deux puissances agissent en
sens

sens contraire) à l'excès d'un moment sur l'autre. Supposé que nous nommions A une des puissances & D l'autre, l'angle réel de conversion sera donc proportionnel à $A \times AG - D \times DG$; & cet angle sera positif ou négatif, selon la manière dont l'excès du premier moment sur le second, sera affecté. Si le premier moment est réellement plus grand que le second, la première puissance vaincra la seconde & le mouvement se fera comme il est représenté dans la figure 96. Si les deux momens sont égaux, l'angle réel de conversion sera nul; de sorte que les deux différentes situations AB & ab seront exactement parallèles, comme dans la figure 97, & la verge qui aura changé de place, n'aura pas tourné. Enfin si le moment de la première puissance est moindre que celui de la seconde, l'angle de conversion sera négatif; la première puissance sera vaincue par la seconde, & l'effort des deux aura fait passer la règle AB dans la situation ab, comme le représente la figure 98.

Fig. 96.

II.

On voit assez que c'est ordinairement le premier de ces trois cas que nous devons rechercher. Car la première puissance, celle qui est appliquée en A, représente les voiles de l'avant, pendant que la seconde puissance, celle qui agit selon DE, représente le choc de l'eau sur la proue, produit par la vitesse du sillage; & le plus grand inconvénient qu'on a presque toujours à craindre dans les Navires qui ne gouvernent pas, c'est que l'effort des voiles de l'avant ne soit pas capable de surmonter le choc de l'eau, lorsqu'il s'agit de faire tourner le Navire. Mais rien n'empêchera maintenant de reconnoître avec une extrême facilité, les bonnes ou les mauvaises qualités qu'auront à cet égard tous les Vaisseaux qu'on se propose de construire: il n'y aura qu'à examiner combien un des momens est plus grand que l'autre par rapport au centre de gravité. Il étoit assez facile de soupçonner que ce moyen devoit servir, lorsque le centre de conversion ne diffère pas du centre

Sff

Fig. 96. de gravité; ce qu'il y a de particulier, c'est qu'il agéalement lieu, lorsque le mouvement se fait sur tout autre point.

Supposé que le Vaisseau de la figure 67 singe à toutes voiles, on pourra représenter l'effort du vent par l'étendue même des voiles; & cette même étendue représentera aussi la force du choc de l'eau sur la prouë qui s'exerce selon FC; puisque les efforts du vent & de l'eau, selon le sens horizontal, sont parfaitement égaux. Si après cela on supprime une des voiles, & qu'il soit question de sçavoir si le Navire obéira avec promptitude à l'effort des autres voiles, on pourroit décomposer les forces, & chercher les parties qui agissent dans le seul sens perpendiculaire à la quille; mais cela n'est pas nécessaire: continuant à exprimer le choc de l'eau sur la prouë par l'étendue qu'avoient toutes les voiles, il n'y aura qu'à multiplier cette étendue par la distance GC du centre de gravité G du Navire à la direction FC du choc, & on aura le moment de ce choc. On trouvera de la même manière le moment de l'effort des voiles qui servent; & on verra de cette sorte dans tous les cas imaginables laquelle des impulsions doit dominer.

Si l'étendue des voiles avec lesquelles le Vaisseau faisoit route, étoit par exemple, de 20000 pieds quarrés, & que la direction CF de leur effort passât à 30 pieds de distance du centre de gravité G, on aura 600000 pour leur moment ou pour celui du choc de l'eau contre la prouë qui est précisément le même. Pour peu ensuite qu'on diminuë l'étendue des voiles de la poupe, la force relative avec laquelle les autres voiles travailleront à faire tourner le Navire ne pourra pas manquer de se trouver plus grande; puisque le moment de la partie supprimée tendoit à produire un effet contraire, il étoit négatif; aussi-tôt que cette partie étoit en arriere du centre de gravité du Vaisseau. Ainsi la retrancher, c'est la même chose que si on l'ajoutoit en avant. Mais on apprendra, en multipliant par leur distance au centre de gravité l'étendue des voiles actuel-

lement déployées, si leur moment est effectivement plus grand d'une quantité assez considérable. Supposé que l'étendue des voiles de la poupe qu'on a ferrées, soit de 3000 pieds, & que la direction composée ou moyenne des autres qui auront 17000 pieds de surface, ne se trouvât éloignée que de 36 pieds du centre G, leur moment ne seroit que de 612000; & le moindre obstacle, comme une Mer un peu agitée, ou une legere diminution, mais subite dans la force du vent, seroit cause tous les jours que ces dernieres voiles ne reussiroient pas à vaincre le choc de l'eau dont le moment seroit de 600000. On concluroit donc que dans le partage qu'on a fait entre les propriétés que doit avoir le Vaisseau, on a trop accordé à l'avantage de marcher avec vitesse, au préjudice de celui de gouverner avec facilité. Pour corriger ce défaut, il faudroit mettre encore quelques voiles vers la prouë dont on se serviroit dans l'occasion; ou si la chose n'étoit pas possible, & que le Vaisseau ne fût que projeté, il faudroit, conformément à ce qu'on a vu dans les Chapitres précédens, porter un peu plus vers l'avant la plus grande largeur de la carène.

III.

Nous n'avons pas besoin dans cette recherche de sçavoir sur quel point doit tourner le Navire, mais on nous pardonnera sans doute cette curiosité. Si l'angle réel AFa (Fig. 96 & 98.) de conversion étoit égal à l'angle de conversion ACa, que causeroit la premiere puissance si elle étoit seule, les triangles GCg & GFg seroient semblables, & nous aurions cette analogie $Gg | Gg || GC | GF$; ou en mettant à la place de Gg & de Gg, la premiere puissance A, & son excès A—D sur la seconde qui sont en même rapport, nous aurons $A | A—D || GC | GF$; de sorte que GF seroit égale à $\frac{A—D}{A} \times GC$. Mais puisque les angles en C & en F ne sont point égaux, la quantité $\frac{A—D}{A} \times G$ ne doit point être la juste valeur de GF; mais celle de Gf in-
S f f ij

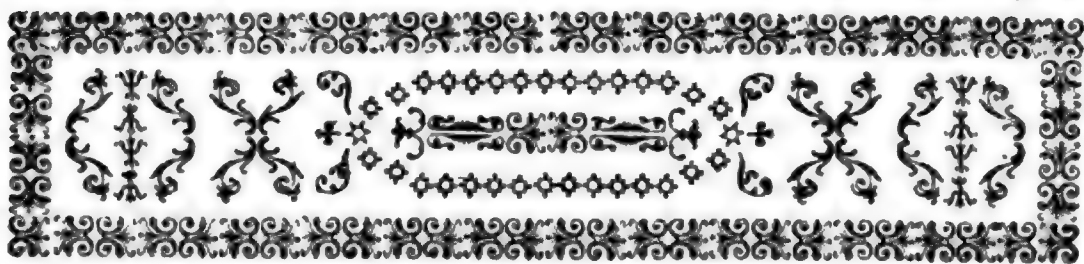
Fig. 96.
& 98.

Fig. 96.
& 98.

terceptée entre le centre de gravité G & une ligne droite gf parallèle à ba qui passeroit par le point g . Et à l'égard de CF elle doit être plus grande ou plus petite, selon que l'angle en F est plus petit ou plus grand que l'angle f ou que l'angle C ; c'est-à-dire, que Gf & GF sont en raison réciproque des angles f & F , ou C & F . Ainsi nous n'aurons qu'à faire cette seconde analogie, en mettant à la place des angles dont il s'agit, les momens qui leur sont proportionels; l'excès $A \times GA - D \times GD$ du moment de la première puissance sur celui de la seconde, est au moment $A \times GA$ de la première puissance, comme la quantité $\frac{A-D}{A} \times GC$ ou Gf est à GF , qui se trouve égale à

$\frac{A-D}{A \times GA - D \times GD} \times GA \times GC$: de sorte que pour trouver immédiatement la distance FG du centre de gravité G au centre réel de conversion, il n'y a qu'à faire cette unique proportion; la différence des momens des deux puissances est à la différence même de ces puissances, comme le rectangle de GA & de l'intervale GC compris entre le centre de gravité G & le point C où seroit le centre de conversion, si la règle n'étoit muë que par la première puissance, est à la distance GF du centre de gravité au vrai centre de conversion F . On peut faire sur cette valeur $\frac{A-D}{A \times CA - D \times GD} \times GA \times GC$ de GF différentes remarques que nous supprimons, pour ne pas allonger davantage ce Chapitre ni cette Section, & pour passer plus promptement à l'examen du Vaisseau par rapport à la mâture.





QUATRIÈME SECTION.

Où l'on examine le Vaisseau par rapport à la qualité qu'il doit avoir de bien porter la Voile , ou de recevoir une voilure avantageuse.

CHAPITRE PREMIER.

De l'effort mutuel vertical que forment ensemble les impulsions du Vent sur les Voiles & de l'Eau sur la Prouë.

I.

IL suffit pour résoudre les Problèmes de Manœuvre , de même que toutes les questions que nous venons de discuter , d'avoir égard aux efforts du vent & de l'eau réduits au sens horizontal ; parce que ce sont ces seuls efforts relatifs qui contribuent au sillage & qui font passer le Navire d'une route à l'autre. Ce n'est plus la même chose aussitôt qu'il s'agit de la disposition de la mâture & de la situation inclinée ou horizontale que peut prendre le Vaisseau : on est obligé de considérer les forces absolues des chocs de l'eau & du vent dans leur état actuel , & de se livrer à la difficulté entière que renferme un semblable examen. Comme la prouë AE (Fig. 99.) a toujours quelque saillie , Fig. 99.

Fig. 99. ou qu'elle est inclinée en avant , de même que le flanc du Navire , elle ne peut pas être poussée par le choc de l'eau dans le sens horizontal , sans l'être en même tems dans le vertical ; c'est-à-dire que l'eau par son choc fait non-seulement effort pour pousser la prouë en arriere , mais aussi pour l'élever. Elle la pousse selon une direction DH , dont la situation dépend de la courbure de la prouë & de sa faillie ; & l'impulsion relative verticale peut se trouver plus grande ou plus petite que l'horizontale dans toutes sortes de rapports. D'un autre côté , quoique le vent se meue toujours à peu près parallelement à l'horison , il ne pousse néanmoins la voile LM que selon la perpendiculaire à sa surface , & si on considere toute l'impulsion réunie dans le milieu I de la voile , elle s'exercera selon une ligne SK qui ne sera peut-être pas horizontale. Il faut encore ajouter que ces impulsions du vent sur la voile & de l'eau sur la prouë ne sont pas égales , lorsqu'on les considere absolument , quoique le Navire soit parvenu à son mouvement uniforme : l'égalité ne subsiste seulement qu'entre les parties de ces forces qui agissent selon la détermination horizontale , & qui contribuent au mouvement du sillage.

II.

Les deux directions DH & SK se coupent en N ; & il est évident que ce que les forces ont d'égal & de contraire doit se détruire entierement dans ce point , à cause de la parfaite oposition qui s'y trouve ; & qu'il ne doit rester que les seules forces verticales qui s'exercent sur la direction commune NT . Il n'importe en quel endroit de sa direction on suppose qu'est appliquée une puissance , si l'espace NR représente l'impulsion absoluë de l'eau sur la prouë , selon la direction DH ; & NP celle du vent sur la voile , selon la direction SK , & qu'on acheve le parallelograme $PNRT$, sa diagonale NT marquera , conformément aux regles de la composition des mouvemens , la direction & la quantité de l'effort mutuel qui résultera de

la réunion de ces deux puissances : c'est à l'effort commun **NT** qu'elles se réduiront , après la destruction de tout ce qu'elle auront de forces égales & contraires ; & cet effort commun doit être exactement vertical , puisqu'il n'est formé que des seules forces relatives verticales , qui au lieu de se détruire , se joignent presque toujours ensemble. Ainsi les impulsions du vent & de l'eau qui pourroient seules altérer , la vitesse du sillage ne conspirent alors qu'à soulever le Navire ou à le tirer verticalement en haut ; pendant qu'il est transporté par son propre mouvement ou par son mouvement intrinsèque déjà acquis. Fig. 99.

III.

Dans les premiers instans du sillage , l'impulsion du vent sur la voile est fort grande , & l'impulsion au contraire de l'eau sur la prouë est fort petite. L'espace **Np** représente , par exemple , la premiere force , & **Nr** la seconde ; & l'effort composé des deux est marqué par **Nt** qui s'exerçant sur une direction inclinée en avant , nous apprend que le choc de l'eau sur la prouë n'a pas alors assez de force relative horisontale , pour suspendre tout l'effet de l'impulsion du vent sur la voile , & que la vitesse de la marche doit s'accelerer ; puisque le Vaisseau est tiré en avant. Le sillage devenant plus rapide , le vent atteindra ensuite les voiles avec moins d'impetuosité , & la prouë éprouvera au contraire plus de résistance de la part de l'eau ; cette résistance sera représentée par **NR** , pendant que l'impulsion du vent le sera par **NP** ; & l'effort commun ou mutuel **NT** , qui résultera de la réunion de ces deux puissances , agissant sur une direction **NT** plus aprochante d'être verticale , travaillera encore à faire accelerer le sillage , mais avec moins de force. Nous ne nous arrêtons pas à démontrer , parce que cela n'importe pas à notre sujet , que le lieu géométrique de tous les points **t** , **T** , **T** qui terminent les efforts composés **Nt** , **NT** , &c. est une parabole qui a les deux directions **SK** & **DH** pour tangentes.

Fig. 99.

Mais enfin , l'effort commun ou mutuel s'exercera successivement sur une infinité de diverses directions N_t , NT , de moins inclinées en moins inclinées, jusqu'à ce que la direction devenuë tout à fait verticale, & l'effort mutuel NT ne tirant plus en avant, le mouvement du sillage ne s'accelere plus & reste dans un état permanent. Pour le dire encore une fois ; les deux impulsions du vent & de l'eau agissent ensemble sur le Navire, & l'effort vertical NT au lieu de les représenter chacune séparément, marque leur action commune. C'est pourquoi, au lieu d'examiner les effets particuliers que chaque de ces puissances est capable de produire, nous n'aurons désormais qu'à avoir égard au seul effort vertical NT qui naît de l'addition des forces relatives verticales, après la destruction des forces relatives horizontales qui sont égales & contraires. Ce sera toujours précisément la même chose ; mais nous ne serons point obligés de partager notre attention entre tant d'objets ; & l'examen deviendra plus simple.

IV.

Au reste, il ne sera pas difficile de déterminer la quantité de cet effort mutuel vertical, aussi-tôt qu'on connoîtra la situation des directions DH & SK sur lesquelles s'exercent les deux impulsions particulieres qui le forment. Dans le triangle PNT les trois angles sont donnés : & on sçaura toujours aisément par l'Anémometre la force totale exprimée par NP du choc du vent sur la voile. Il n'y aura donc que cette simple analogie à faire ; le sinus de l'angle PTN égal à l'angle TNR fait par la direction du choc de l'eau & par la verticale, est à l'impulsion NP du vent sur la voile, comme le sinus de l'angle P égal à l'angle RNS que font ensemble les directions des impulsions du vent & de l'eau, est à l'effort requis NR . Suposé que l'étendue des voiles exposées au choc soit de 15474 pieds quarrés, comme dans le Vaisseau du premier rang que nous avons considéré dans le premier Chapitre de la seconde Section,

&

& que l'impulsion du vent sur chaque pied soit de six livres, l'impulsion totale sera de 92844 livres; & si la direction SK est horisontale, & que celle DH du choc de l'eau sur la prouë fasse un angle de $48\frac{1}{2}$ degrés avec l'horison, comme cela se trouvera à peu près dans nos Vaisseaux, & comme cela arriveroit tout-à-fait exactement si la prouë étoit sphérique, mais qu'elle n'enfonçât dans l'eau que la moitié de son rayon vertical, on trouvera que l'effort mutuel NT est de 104328 ou d'un peu plus de 52 tonneaux. C'est cet unique effort qui résulte de l'assemblage des chocs du vent & de l'eau, & qui représente toute leur action.

Fig. 99.

Nous pouvons sans doute nous dispenser d'expliquer comment il se peut faire, que pendant que l'impulsion du vent, qui est la première cause du mouvement du Navire & de tout ce qui en résulte, n'est que de 92844 livres, l'effort mutuel vertical NT est néanmoins de 104328 livres: la composition & la communication des mouvemens offrent plusieurs phénomènes semblables connus de tous les Mécaniciens. D'ailleurs il est évident que le Vaisseau étant poussé avec une force de 92844 livres, doit alier choquer l'eau avec une plus grande vitesse, jusqu'à ce qu'il en soit repoussé dans le sens horisontal avec une force exactement égale. Mais de ce même choc, il doit naître nécessairement une impulsion verticale qui sera plus ou moins grande, selon que la prouë sera plus ou moins inclinée; & c'est principalement cette dernière force, parce qu'il n'y a rien qui puisse la détruire, qui forme l'effort vertical NT, & qui pourroit le rendre, non pas une ou deux fois plus grand, mais dix & vingt fois, si la prouë avoit beaucoup plus de saillie.



T t t

C H A P I T R E I I .

Des différentes situations que l'effort mutuel vertical des chocs du Vent sur les Voiles & de l'eau sur la prouë , fait prendre au Navire ; & des conditions de la mâture parfaite.

SI on examine maintenant les effets que cet effort NT est capable de produire en tirant continuellement le Navire en haut , on verra qu'il en peut causer deux très-différens. Le premier de soulever le Navire ou de le faire un peu sortir de l'eau ; & le second de produire quelque inclinaison vers la prouë ou vers la poupe , selon l'endroit du Vaisseau auquel il est appliqué.

I.

Fig. 99. Le Navire étant continuellement tiré en haut , sa pesanteur doit être comme diminuée : & la poussée verticale de l'eau étant ensuite trop grande , le Navire doit s'élever. L'effort mutuel NT agit avec une force de 104328 livres ou de 52 tonneaux , c'est autant à retrancher sur le poids total ; & la poussée de l'eau étant déchargée de tout ce fardeau , le Navire ne doit plus occuper un si grand espace dans la Mer ; il doit en sortir assez pour que le volume d'eau déplacée par sa carène , soit moindre de 52 tonneaux , ou d'environ 1456 pieds cubiques. Il est évident que cet effet est physiquement nécessaire ; & il est également clair que la partie de la carène qui s'élève , & qu'on peut nommer la partie *non-soumergée* , doit avoir même rapport à toute la carène , que l'effort vertical NT à toute la pesanteur du Vaisseau ; c'est-à-dire , que si tout le poids du Navire est exprimé par la solidité entière de la carène ABFE , la partie *non-soumergée* ABba représen-

tera l'effort mutuel NT , pendant que la partie sumergée $abFE$ représentera la force actuelle de la poussée verticale de l'eau. Au reste cette élévation du Navire peut se negliger dans diverses rencontres: car comme la coupe horisontale du Navire faite à fleur d'eau a beaucoup d'étendue, il suffit que la carène s'élève très-peu, pour que la partie qui sort de l'eau acquerre la solidité qu'elle doit avoir. Cette partie n'aura jamais que 4 ou 5 pouces d'épaisseur, dans le tems même que le vent aura le plus de rapidité, & qu'on donnera aux voiles le plus de surface.

Fig. 99.

II.

Mais en même tems que l'effort NT souleve le Vaisseau, il peut le faire incliner, & porter même l'inclinaison si loin, qu'il n'y ait pas de sureté pour les Marins. Ce second effet qui n'est pas nécessaire comme le premier, doit principalement varier selon les diverses applications de l'effort dont nous parlons, par raport au centre de gravité du Navire. * Lorsque la mâture est fort haute, la di-

* L'Auteur dont j'ai parlé dans la seconde partie de la note de la page 387, a mis à la fin de son Livre l'extrait de deux Lettres anonymes, dans lesquelles on se déclare pour un autre avis sur le point du Navire qu'il faut prendre pour hypomocion. On m'objecte la Théorie qu'a donné M. Bernoulli sur le point qu'il nomme *centrum spontaneum rotationis* N. 177. du quatrième tome de ses Oeuvres; j'avoue que l'autorité de M. Bernoulli est si grande en Mathématiques, que je croirois m'être trompé, si je l'avois contre moi, malgré toutes les raisons sur lesquelles mon sentiment est fondé. Mais outre que j'ai reconnu avec plaisir que j'étois parfaitement d'accord avec ce célèbre Mathématicien dans plusieurs recherches qui nous sont communes, quoique nous soyons venus aux mêmes résultats par des chemins très-différens, le Lecteur doit remarquer qu'il ne s'agit nullement ici d'oscillations ou de balancemens, & qu'il n'en étoit pas plus question dans mon Traité de la mâture, où je ne parlois de changemens de situations de la part du Navire, que pour tacher de les prévenir. Lorsque le Vaisseau est exposé à l'action de plusieurs puissances, c'est à peu près le même cas que si plusieurs personnes tiroient une regle ou un bâton par différens endroits & selon différentes directions. On sçait bien que cette regle peut changer de situation sur une infinité de différens points, mais il n'en est nullement question lorsqu'on veut que la regle ne tourne pas; & il suffit pour cela qu'il y ait un équilibre parfait entre les efforts de toutes les personnes qui agissent ensemble. C'est ce que je tache de faire aussi à l'égard du Vaisseau. Mais ce qui étonnera, peut-être, l'Auteur anonyme des deux Lettres; c'est que quoique je ne dusse pas penser au centre de rotation, & que je prenne toujours le centre de gravité du Navire pour point d'appui, lorsque je considère

T t t ij

Fig. 99.

rection SK de la voile coupera la direction DH du choc de l'eau dans un point N beaucoup plus élevé & plus en arriere , & la direction VT de l'effort NT étant apliquée vers la poupe , soulevra cette partie & fera par conséquent enfoncer en même tems la prouë dans l'eau. Ce fera tout le contraire si la mâture a trop peu de hauteur , & que la direction SK de l'effort du vent coupe la direction du choc de l'eau dans un point N beaucoup plus bas : l'effort mutuel NT soulevra alors le Navire par l'avant & fera caler la poupe. Il arrivera à peu près la même chose qu'à une piece de bois qu'on élève par une de ses extrémités , au lieu de l'élever par le milieu : un de ses bouts reste à terre , pendant qu'on fait monter l'autre.

Le Vaisseau portera l'inclinaison dans ces deux différens cas , jusqu'à ce que la poussée de l'eau soit en état de l'empêcher d'aller plus loin. Le Navire ne peut pas perdre sa situation horisontale sans que le centre de gravité de la partie sumergée , dans lequel se réunit la poussée verticale de l'eau , change de place & avance du côté de l'inclinaison ; ce qui fait que cette force , quoique la même , se trouve ensuite apliquée à un bras de levier plus long , & qu'acquierrant un plus grand moment , elle se trouve plus en état de s'opposer à l'inclinaison. C'est sur tout dans les routes obliques que l'inclinaison va fort loin , & on n'a que trop d'exemples où elle a été poussée jusqu'au point de faire verser le Vaisseau. La figure 100 représente un Navire qui touche , pour ainsi dire , à ce fu-

chaque effort à part , je n'introduis cependant pas moins l'équilibre par rapport au centre de rotation prétendu ou même par rapport au centre de la Terre , que par rapport au centre de gravité du Navire. La raison en est évidente à tous les Lecteurs un peu versés dans les Mécaniques. On rend ici l'équilibre parfait ; c'est-à-dire , qu'on le rend tel , que généralement tous les efforts se détruisent mutuellement par leur égalité & leur opposition. L'effort du vent contre les voiles , la résistance qu'éprouve la prouë , la poussée verticale de l'eau , la pesanteur même du Navire , toutes ces forces suspendent reciproquement leur effort : ainsi elles sont en équilibre à l'égard de tous les points imaginables. Supposé que le reste des deux Lettres soit susceptible de quelque autre sens , car je ne me flate pas de les bien entendre , je crois néanmoins que cette seule réponse doit suffire.

nefte état : l'effort mutuel NT des chocs du vent & de l'eau tend à le faire coucher davantage, & il n'y a que la poussée verticale de l'eau qui se réunit dans le centre de gravité Γ de la partie sumergée aEb , qui puisse le relever, ou l'empêcher au moins de porter l'inclinaison plus loin. Fig. 99.

C'est en un mot l'équilibre de part & d'autre du centre de gravité g du Navire, entre la poussée verticale de l'eau & l'effort mutuel vertical NT, qui doit tout décider. Si ces deux forces se contrebalancent exactement ou sont dans un parfait équilibre, le Navire conserve la même situation; au lieu que si la poussée verticale de l'eau qui s'exerce selon ΓZ , n'est pas assez puissante; & si le Navire en s'inclinant encore, cette force quoi qu'appliquée à un bras de levier plus long, n'acquiere pas un assez grand moment; le péril est inévitable, il n'y a plus de salut. Enfin ce n'est toujours que lorsque la mâture a une hauteur moyenne, & que la direction SK (Fig. 99.) de l'effort du vent passe exactement par un certain point N que nous avons nommé *vélique* dans le Traité de la mâture, que le Navire ne perd du tout point son niveau. Alors l'effort mutuel vertical NT n'est appliqué ni trop vers la poupe ni trop vers la prouë, & ne s'occupe qu'à faire sortir le Navire de l'eau par tout également.

III.

Pour déterminer le point *vélique* ou ce point N auquel dépend la perfection de la mâture, il n'y a qu'à élever du centre de gravité γ (Fig. 99.) de la coupe horisontale de la carène faite à fleur d'eau une verticale VT, & l'intersection N de cette ligne & de la direction DH du choc de l'eau sur la prouë, sera le point requis ou le point par lequel on doit faire passer la direction SK de l'effort du vent. Comme la tranche ABba de la carène qui s'élève de l'eau, lorsque le vent a même le plus de force, n'a que très-peu d'épaisseur, son centre de gravité γ ne diffère point de celui d'une surface

Fig. 99.

plane de même étendue , tant que le Navire conserve sa situation horifontale. Ainsi il suffit de faire passer la direction de l'effort de la voile par le point N, pour que l'effort mutuel vertical NT soit comme appliqué au centre de gravité γ de la partie non-sumergée ABba de la carène. Mais aussi-tôt que cette condition est remplie , l'effort mutuel NT ne peut plus faire incliner le Navire ; parce que la poussée verticale de l'eau qui se réunit dans le centre de gravité Γ , non pas de toute la carène , mais de la partie sumergée abFE , se trouve située de l'autre côté du centre de gravité du Vaisseau , & s'oppose à l'inclinaison aussi efficacement que l'effort mutuel vertical NT y travaille.

Il est clair en effet , que puisque ces deux forces ont entr'elles le même rapport que les deux parties sumergée & non-sumergée de la carène considérées comme homogènes , & qu'elles sont outre cela appliquées au centre de gravité Γ & γ de ces mêmes parties , elles doivent être en équilibre autour du centre de gravité g de toute la carène ; de même que les deux parties le sont. Cela ne fait rien à l'équilibre que la poussée verticale de l'eau selon ΓZ & l'effort composé NT s'exercent de bas en haut ; au lieu que les pesanteurs des deux parties abFE & ABba tendent en bas. Mais aussi-tôt que les deux puissances qui pourroient alterer la situation horifontale se contrebalancent parfaitement de part & d'autre du centre de gravité g de la carène , elles doivent le faire également autour de tous les autres points qui sont précisément au-dessus ou au-dessous dans la même verticale ; & l'équilibre doit donc subsister par rapport au centre de gravité du Vaisseau.

I V.

Ce n'est pas ici le lieu d'en dire davantage sur une matière dont nous avons traitée expressement. Nous nous contenterons d'ajouter , que lorsque la maxime que nous venons d'expliquer est exactement observée, ou que le centre d'effort du vent repond vis-à-vis du point vélique , on

peut sans risque donner aux voiles qu'elle étendue on veut , Fig. 99.
à cause de la bonne qualité que le Vaisseau contracte , de
s'élever de l'eau sans perdre sa situation horisontale ; qua-
lité dont il n'est pas capable , lorsque sa mâture a toute au-
tre disposition. Toutes les puissances qui agissent sur lui ,
ne font alors que le tirer en haut avec plus ou moins de
force , & ne font que le soulever plus ou moins. Si le vent
devient plus rapide , s'il devient tout-à-fait violent , le Na-
vire singlera plus vite , le choc de l'eau sur la prouë aug-
mentera , & l'effort mutuel NT qui deviendra plus grand ,
fera sortir de l'eau une plus grande partie de la carène , une
partie qui aura peut-être 4 ou 5 pouces d'épaisseur : Mais
comme l'effort NT fera toujours appliqué sensiblement au
centre de gravité de cette partie , l'équilibre nécessaire
pour entretenir la situation horisontale , ne sera nullement
altéré. Le Navire enfin sera , pour ainsi dire , plus léger ,
lorsque le vent deviendra plus fort , ou lorsque les vagues
frapperont sa prouë avec plus de violence ; & on le verra
toujours marcher avec la plus grande rapidité possible ,
sans qu'il soit exposé à aucun péril.

Mais on perdra tous les avantages dont nous venons de
parler , si on donne à la mâture plus ou moins de hauteur :
on aura tout à craindre de la trop grande étendue des voi-
les , si on tombe dans le premier défaut ; on sera souvent
assujetti à les serrer , lorsqu'il seroit tout-à-fait nécessaire
de les étendre , pour pouvoir en dérivant moins , s'élever
d'une côte , ou doubler un cap , ou éviter un écueil. C'est
un grand inconvenient dans ces rencontres de ne pouvoir
pas porter assez de voiles. Car l'impulsion que souffre tou-
te la partie d'en haut du flanc du Navire , devient consi-
derable par rapport à l'impulsion totale du vent. Cette im-
pulsion que reçoit le flanc du Navire se trouve dominante ,
vû le peu d'étendue des voiles ; & comme elle ne s'exer-
ce gueres que dans le sens latéral ou dans le sens perpen-
diculaire à la quille , elle n'est capable que du mauvais effet
de faire augmenter extrêmement la dérive , sans que les voi-
les qui poussent peu dans le sens de la route , puissent

* Voyez
la fin du
premier
Chap. de la
1. Section.

s'y opofer , comme les Marins ne l'éprouvent que trop souvent. Le Navire outre cela , au lieu de sortir de l'eau par tout également , au lieu d'être *leger aux lames* , deviendra pesant , s'inclinera d'un côté ou d'autre ; & on sera tout étonné de le voir conformément à ce que nous avons expliqué ci-devant * , singler plus lentement dans le tems même qu'on s'exposera aux plus grands périls & qu'on hazardera tout , pour le faire aller plus vite. Enfin nous dirions que c'est presque un égal défaut de donner trop peu de hauteur à la mâture que de lui en donner trop , si ce n'est que dans l'état actuel où sont les choses , on est fort éloigné du terme moyen dans lequel consiste la perfection , & qu'il n'y a point d'inconvenient à diminuer le plus qu'on pourra la hauteur qu'on donne aujourd'hui à toutes les voiles.

** Le Vais-
seau du
Roy le
Fleuron.

Une infinité d'expériences prouvent la même chose ; nous avons déjà rapporté dans le premier Livre des faits sur cela qui sont de notorieté publique , & qui sont démonstratifs ; & on me permettra sans doute d'en alleguer encore un autre qui m'intéresse , il est vrai , mais qui intéressant encore plus le Public , ne doit pas être supprimé. C'est l'essai que fit il y a quelques années feu M. de Radouay , en diminuant tout d'un coup de 45 pieds la hauteur de la mâture d'un Navire du troisième rang ** : essai qui réussit dans le voyage de la Mer Baltique , au-delà de ce qu'on devoit naturellement attendre d'une première tentative. Il avoit falu des siècles entiers , & faire une infinité de divers changemens pour porter dans la Marine les choses dans l'état où on les voit : au lieu que M. de Radouay , sans autre épreuve , & par une observation seulement approchée des maximes qu'on vient d'exposer , mais aidé aussi par une pratique éclairée & par une connoissance particulière de la Mer , saisit d'abord la disposition propre à ce Vaisseau , que les regles qu'on respecte si fort & qui sont le fruit d'un si long tatonnement , n'avoient pas empêché jusques là d'être mauvais voilier. Peut-être cependant que la tyrannie de l'habitude sera toujours la plus forte ,

forte , & qu'on persistera encore à suivre un usage , dont on ne sent que trop les défauts. Ce que nous pouvons donc faire de plus , c'est d'indiquer & de retrancher tout ce que les regles ordinaires ont de dangereux , & de faire ensuite par les restrictions que nous leur mettrons , qu'elles ne puissent plus causer d'accidens.

CHAPITRE III.

Principe général pour déterminer la plus grande hauteur qu'on peut donner sans risque à la Mâturę ; avec quelques remarques sur la force qu'ont les Vaisseaux de divers rangs , pour porter la Voile.

I.

NOUS n'avons pour cela qu'à prendre pour limite la plus grande hauteur qu'on peut donner à la mâturę , sans s'exposer au risque de verser , lorsque le vent a le plus de force. La Théorie que nous venons d'établir nous met en état de résoudre facilement ce Problème , tenté inutilement jusqu'à présent par diverses personnes , depuis que le P. Hoste a vu le premier qu'il étoit utile d'y penser.

Le Vaisseau de la Fig. 100. étant incliné le plus qu'il est possible , nous pouvons trouver aisément le centre de gravité Γ de la partie sumergée de la carène , & nous sçaurons combien la verticale ΓZ de ce centre est éloignée du centre de gravité G du Navire. Nous devons aussi regarder comme connue la situation de la direction DH du choc de l'eau. Ainsi il n'y a d'indéterminée que la seule situation de la direction SK de la voile qui peut être plus ou moins haute ; mais que nous supposons perpendiculaire au mât. Du point Z où la verticale ΓZ sur laquelle s'exerce la poussée de l'eau , coupe la direction DH , je tire la ligne ZF parallèlement à la direction SK de la voile , & j'abais-

Fig. 100.

Vuu

Fig. 100. se les perpendiculaires Zi & Zv sur les directions SK de la voile & VT de l'effort mutuel vertical NT . Du point g qui est l'intersection de EF & de IZ , & qui est, comme on le sçait, le *métacentre*, j'abaisse aussi la perpendiculaire gV sur VNT .

Puisque l'effort mutuel vertical NT auquel se reduisent les chocs du vent & de l'eau, doit se contrebalancer exactement de part & d'autre du centre de gravité G , avec la poussée verticale de l'eau réunie en Γ & qui s'exerce selon ΓZ , & que ces deux forces doivent soutenir ensemble la pesanteur du Vaisseau; nous pouvons considerer la ligne horizontale gV comme une ligne inflexible, ou comme un levier à l'extrémité duquel les deux premières forces, l'effort NT & la poussée verticale de l'eau sont appliquées, pendant que la pesanteur du Navire est appliquée en Q , qui répond exactement au-dessus de G . Il doit y avoir un parfait équilibre entre ces trois puissances; c'est-à-dire, qu'elles suspendent reciproquement leur effet: & cela est cause qu'on peut attribuer quelle espece on veut au levier gV , ou prendre indifféremment g ou Q , ou même V pour point d'appui ou pour hypomoclion.

Je mets pour une plus grande facilité ce point en g dans le *métacentre* même; ou ce qui revient à la même chose, je considere le levier comme s'il étoit de la seconde espece. Nous serons de cette sorte dispensés de considerer la *poussée verticale* de l'eau, qui n'aura d'autre emploi que de rendre fixe l'extrémité g du levier gV ; pendant que la pesanteur du Vaisseau travaillera à faire descendre le point Q , & que l'effort mutuel vertical NT , auquel se reduisent les chocs du vent sur la voile & de l'eau sur la proue ou sur le flanc de la carène, tendra à faire monter l'extrémité V . On ne doit pas craindre que l'ordre entre les trois puissances puisse changer; quelque grande que soit l'inclinaison du Navire, pourvu qu'il ne verse pas, le point Q fera toujours entre les deux autres g & V . Cela supposé, nous aurons dans le cas de l'équilibre le moment de la pesanteur totale du Navire parfaitement égal

au moment de l'effort NT par rapport à l'hypomoclion g. Fig. 1004
C'est-à-dire, que si P désigne la pesanteur totale du Vaisseau, nous aurons $P \times gQ = NT \times gV$; le produit de la pesanteur totale P par la distance gQ au point d'appui, parfaitement égal au produit de l'effort NT multiplié par la longueur gV du bras de levier auquel il est appliqué.

Mais si l'expression du moment de la pesanteur totale du Navire, est fort simple & ne peut pas l'être davantage; ce n'est pas la même chose de l'autre moment: car outre que l'effort vertical mutuel NT n'est connu que par le moyen des forces primitives qui le composent, on ne parvient encore à déterminer la distance gV que par un assez long circuit. Il seroit donc avantageux de trouver un autre produit, mais plus immédiatement connu, qui étant toujours égal au moment $NT \times gV$, put lui être substitué. Ce produit se découvre aisément, quand on y fait attention; c'est l'effort même NP du vent sur la voile multiplié par sa hauteur FI au-dessus du point F ou du point Z, comme on va s'en convaincre.

Il y a même rapport des sinus des angles ZNi & ZNv aux côtés opposés Zi & Zv , que du sinus total à ZN; & par conséquent il y a même rapport du sinus du premier angle ZNi à Zi , que du sinus du second angle ZNv à Zv . Et si on remarque que les angles TPN & NTP du triangle PNT sont égaux aux angles ZNi & ZNv , & que les côtés NT & NP sont proportionels aux sinus de ces angles; il s'ensuivra par égalité de raisons que Zi ou FI est à Zv ou à gV, comme NT est à NP; & que par conséquent le produit de NT par gV est égal à celui de NP par FI ou par Zi . Il est donc évident qu'au lieu du produit de NT par gV ou du moment de l'effort vertical mutuel NT par rapport au métacentre g, nous pouvons toujours mettre le produit qui lui est égal de NP par Zi , ou le moment de l'effort actuel NP du vent sur la voile, non pas par rapport au métacentre g, mais par rapport au point F ou au point Z: & puisque le premier produit est égal au moment de la pesanteur totale du Vaisseau, le second produit est donc

aussi égal à ce moment. C'est-à-dire , qu'au lieu de faire consister l'équilibre dans l'égalité des momens , $P \times gQ = NT \times gV$, nous pourrions le faire consister désormais dans l'égalité $P \times gQ = NP \times FI$.

Ainsi nous aurons cette regle qui est générale , qu'*aussi-tôt que le Navire est stable pendant sa navigation , ou que lors que toutes les puissances , à l'action desquelles il est sujet , se contrebalancent exactement ; les momens de la pesanteur totale du Vaisseau & de l'effort du vent sur les voiles sont parfaitement égaux (mais par raports à deux différens points ;) le moment de la pesanteur du Vaisseau par raport au métacentre g , & celui de l'effort du vent par raport au point Z qui est l'intersection de la direction DH & de la verticale IZ. Cette égalité de momens ou de produits est absolument nécessaire ; & il faut principalement que le second produit $NP \times Zi$ ne surpasse pas le premier $P \times gQ$: car s'il étoit plus grand , la voile auroit trop de force , & l'inclinaison du Navire augmenteroit.*

II.

L'utilité de cette regle se presente naturellement ; & elle nous met en état de rectifier diverses choses que nous n'avons pas pû rendre assez précises , lorsque nous avons parlé de la mâtire dans le premier Livre. On vient de voir que la force qu'a le Navire pour porter la voile , dépend de la pesanteur absolue P & de la quantité dont son centre de gravité est au-dessous du métacentre. Car plus le premier de ces points sera au-dessous de l'autre , plus le bras de levier gQ auquel sera apliquée la pesanteur P sera long , & le moment $P \times gQ$ sera grand. On vient de voir en second lieu , que l'effort que fait la voile pour faire incliner le Navire n'a pour hypomocion ni le centre de gravité G du Navire ni le métacentre g , mais le point Z de la direction DN , lequel est exactement au-dessus ou au-dessous du métacentre dans la même verticale. Ces choses suposées , il ne suffit pas pour que les maximes que nous avons données dans le premier Livre soient sensiblement exactes ,

que les formes extérieures des carènes des Navires soient semblables, il faut encore que la distribution intérieure du poids, soit la même; afin que le centre de gravité soit situé de la même manière ou semblablement par rapport au métacentre: ce n'est que lorsque cette condition est observée, que la force relative $P \times gQ$ qu'ont les Navires pour porter la voile, est comme la quatrième puissance de leurs dimensions simples. Cette force s'oppose à l'effort de la voile; & le moment de ce dernier effort est exprimé par le produit de la largeur de la voile par sa hauteur & par la hauteur de son centre d'effort I au-dessus du point Z. C'est pourquoi, suposant la largeur des voiles proportionnelle à celle du Vaisseau, le cube des dimensions simples du Navire, ou ce qui revient au même, la pesanteur P doit être proportionnelle, non pas précisément au carré de la hauteur des voiles; mais au produit de leur hauteur par celle de leur centre d'effort au-dessus du point Z.

Il est clair aussi que l'avantage ou le désavantage qu'ont les Navires pour porter la voile, dépend principalement de la quantité Gg dont leur centre de gravité est au-dessous du métacentre. Un Vaisseau qui ne doit porter qu'une mâture proportionnelle à ses autres parties, n'a pas plus d'avantage qu'un autre. Qu'importe-t-il en effet que les voiles soient deux fois plus hautes & deux fois plus larges, ou quelles aient quatre fois plus d'étendue, si d'un autre côté la surface de la proue étant quatre fois plus grande, éprouve aussi quatre fois plus de résistance de la part de l'eau? Le sillage ne sera pas plus rapide. Les règles vulgaires qui rendent la mâture proportionnelle, suposent donc que les Navires sont tous égaux en cela, ou sans aucune prééminence les uns par rapport aux autres: ce qui arriveroit si la quantité Gg dont leur centre de gravité est au-dessous du métacentre, étoit toujours exactement la même dans les petits & dans les grands. L'effort absolu de la voile étant comme son étendue ou comme le carré des dimensions simples du Navire, son effort relatif ou son moment qui s'occupe à produire l'in-

Fig. 100.

clinaison & qui dépend encore une autre fois de la hauteur de la mâture , seroit comme le cube ; & ce seroit donc assez pour le contrebalancer , que de la seule pesanteur du Navire , appliquée toujours à un même bras de levier gQ . Il suit de là que les Navires grands ou petits , mais extérieurement semblables , dans lesquels la quantité Gg est la même , ne jouissent d'aucune distinction & portent également bien la voile. Mais il y a de la différence , aussitôt que Gg est plus grande ou plus petite ; puisque la pesanteur P qui étoit déjà suffisante par elle-même pour faire équilibre , est appliquée alors à un levier plus ou moins grand ; ce qui oblige de rendre la mâture plus grande ou plus petite que la proportionnelle.

Il ne tient qu'aux Marins de ne pas priver les plus grands Vaisseaux de cette propriété particulière , de mieux porter la voile , dont ils devroient jouir. Ils n'ont qu'à ne pas entasser un si grand nombre de ponts les uns sur les autres , ni les charger outre cela d'une si pesante artillerie ; ce qui est cause que le centre commun de gravité G se trouve trop haut & vient presque se placer dans le métacentre même. Des Navires de la grandeur de ceux qu'on nomme du premier rang , construits à tous égards & équipés comme les Frégates , feroient sentir l'extrême avantage qu'ils recevroient de leur grandeur ; & comme ils pourroient porter plus de voiles qu'ils ne font actuellement , ils singleraient beaucoup plus vite , en même tems qu'ils se comporteroient beaucoup mieux. Lorsque le vent deviendrait plus fort ou plus foible , le grand Vaisseau mériterait encore la préférence , sans que la plus grande résistance de l'eau contre sa proue y fût un obstacle , puisque sa mâture & l'impulsion du vent seroient toujours plus grandes à proportion. Malheureusement les hommes n'ont pas eu en vûe , lorsqu'ils ont construit de plus grands Vaisseaux , tous ces avantages qui étoient si naturels & si légitimes ; ils n'y ont au contraire renoncé que trop expressement , pour se détruire d'une manière plus infaillible.

Cependant je crois que l'avantage augmente réellement

lorsqu'on passe des petits Navires aux plus grands , pour-
 vû qu'on s'arrête à ceux de 60 ou 70 canons , ou du troi-
 sième rang , lesquels n'ont au plus que deux ponts & demi Fig. 100.
 avec une seule dunette ; jusques là la quantité dont le
 centre de gravité est au-dessous du métacentre , devient
 plus grande. Nous avons trouvé que cette quantité dans
 la Frégate la *Gazelle* étoit de 4 ou 5 pieds ; dans les Vais-
 seaux de 60 canons elle sera peut-être de 6 à 7 pieds , &
 ces Vaisseaux pourront donc porter plus de voiles à pro-
 portion que la Frégate. Dans les Vaisseaux encore plus
 grands , dans ceux de 80 ou 90 canons qui ont trois ponts
 & deux dunettes , le poids de toutes les parties supérieu-
 res fait que le centre de gravité monte & s'approche du mé-
 tacentre , & revient se mettre seulement à 4 ou 5 pieds
 au-dessous. Alors la pesanteur totale étant apliquée pen-
 dant l'inclinaison à la même distance du métacentre que
 dans la *Gazelle* , sa force relative n'est plus grande que
 dans le seul raport des cubes , ce qui est cause que la mâ-
 ture de ces Vaisseaux ne doit être grande qu'à proportion
 de leurs dimensions simples , & qu'ils pourroient être com-
 parés à cette Frégate pour la marche , si la figure de leur
 carène n'étoit pas altérée , & s'ils n'étoient pas outre ce-
 la embarassés par leurs œuvres-mortes qui font la fonction
 de voiles , mais qui y nuisent , comme nous l'avons déjà
 dit. Enfin les Vaisseaux sont-ils du premier rang , ont-ils
 100 , 110 ou 120 canons , avec trois ponts & demi , le
 centre de gravité est encore beaucoup plus haut ; il n'est
 pas quelquefois deux pieds au-dessous du métacentre. Ainsi
 la pesanteur totale perd de la grandeur de son moment par
 le levier gQ qui est moins long ; le Vaisseau ne doit plus
 porter si bien la voile , & doit perdre en même tems de
 tous ses autres avantages , bien loin de les conserver. Il
 arrive même souvent encore qu'on rend ces Navires moins
 propres pour le combat , en les chargeant d'artillerie ou en
 voulant les rendre plus forts ; parce que devenus trop pe-
 sants & plongeant trop , la Mer pour peu qu'elle soit agi-
 tée , interdit l'usage de toutes leurs batteries inférieures.

C H A P I T R E IV.

Suite du Chapitre précédent ; déterminer la limite de la plus haute mâture , & application de cette règle à quelques Navires.

I.

Fig. 100.

ON peut achever sans peine la solution du Problème que nous avons tentée : il suffit d'appliquer le principe que nous venons d'établir dans l'autre Chapitre ; application d'autant plus facile , qu'elle n'exige presque toujours que les seules connoissances que nous avons déjà prises , & de la figure du Navire , & de l'arrangement de ses parties. Ce principe porte , que le Vaisseau ne reste dans une certaine situation inclinée , que lorsqu'il y a égalité entre le moment de la pesanteur totale par rapport au métacentre g , & le moment de l'effort de la voile par rapport au point F , ou au point Z , qui repond exactement au-dessus ou au-dessous du métacentre dans la direction DH du choc de l'eau sur la prouë. Tous ces points F , Z , g & le point C se confondront , lorsque la direction DH passera par le métacentre g , comme cela arrivera , lorsque les coupes verticales aEb de la carène seront circulaires. Dans la plupart des autres cas , on pourra négliger encore l'intervale gF ; parce que si la coupe aEb n'est pas un segment de cercle , les différentes figures qu'on lui donnera feront changer à peu près également le point g que le point C . Ce n'est que dans les seuls Vaisseaux construits à la Chinoise , dans les Flutes Hollandoises & dans une espece de Frégate particuliere que nous proposerons dans la Section suivante , qu'il sera bon de ne pas regarder l'espace gF comme nul. Le flanc aE du Navire étant presque vertical , la direction DH du choc de l'eau doit être presque horizontale , & par conséquent

conséquent les points Z ou F qui servent d'hypomoclion à l'effort de la voile se trouveront de niveau avec le centre de la partie sumergée de la carène , ou seront enfoncés dans l'eau de la moitié de la profondeur du Navire. Fig. 100.

Quoi qu'il en soit , si on continue à nommer P la pesanteur du Vaisseau , on aura $P \times gQ$ pour son moment , qu'on peut toujours regarder comme connu. Outre la maniere exacte que nous avons donnée pour trouver la pesanteur totale P du Navire en mesurant la solidité entière de la carène , & celle que nous avons proposée pour trouver la situation du métacentre g & du centre de gravité G , nous avons fourni dans le Chapitre XI. de la seconde Section du Livre précédent , le moyen de trouver immédiatement , quand on le voudra , par l'expérience , le moment $P \times gQ$, pourvu que le Navire soit déjà chargé. On trouvera ce moment pour une très-petite inclinaison , & on en conclura le moment $P \times gQ$, dont nous avons besoin , qui augmente dans le même rapport que le sinus de l'inclinaison ; aussi-tôt que le métacentre ne change pas sensiblement de place. Supposé qu'un poids de 700 livres placé à 30 pieds de distance horisontale du métacentre ou du milieu du Navire , produisit une inclinaison d'un degré , il faudroit placer ce même poids environ dix fois plus loin , pour produire une inclinaison de 10 degrés. Ainsi dans ce dernier cas le moment $P \times gQ$ seroit égal à 210000 , produit de 700 livres par 300 pieds.

Si après cela on convient de la figure de la voile , cette figure reglera le rapport qu'aura la hauteur OL comparée à la hauteur OI que doit avoir son centre d'effort I au-dessus du point O , qui repond au bas de la voile. Lorsqu'on adoptera la figure rectangulaire ou qu'on fera les voiles également larges par en haut que par en bas , LO sera double de IO ; si la voile étoit un triangle isocelle , dont le sommet fût en haut , LO seroit triple de IO. On aura en général $LO = m \times IO$, & m sera toujours donnée , quoi qu'on ne connoisse ni l'une ni l'autre hauteur. Les largeurs de la voile sont aussi réglées ; elles le sont sur celles du

Xxx

Fig. 106.

Navire. Je nomme L la largeur moyenne de la voile ; ainsi son étendue sera $m \times L \times IO$ produit de la hauteur $m \times IO$ par la largeur ; cette étendue sera énoncée, si on le veut, en pieds quarrés ; & si E designe l'effort que fait le vent sur chaque pied quarré , nous aurons $m \times E \times L \times IO$ pour l'impulsion totale qu'il ne reste plus qu'à multiplier par FI , pour avoir son moment ou sa force relative $m \times E \times L \times IO \times FI$, qui doit conserver une parfaite égalité avec le moment $P \times gQ$ de la pesanteur du Vaisseau. Je divise ces deux momens par la même quantité $m \times E \times L$, & j'obtiens l'équation $IO \times FI = \frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$.

La vitesse absoluë du vent étant donnée , on pourroit chercher l'impulsion E qu'il doit faire par sa vitesse relative ; mais comme on élèveroit le Problème au quatrième degré, & qu'outre cela il n'est pas tant ici question de trouver la hauteur précise de la mâture , que de déterminer la limite de sa plus grande élévation , il vaut sans doute mieux regarder la vitesse respective même du vent comme donnée , de même que son impulsion E . Ainsi dans l'équation $IO \times FI = \frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$ le second membre est entièrement connu ; & il n'est par conséquent question pour construire cette équation , que de déterminer le point I où doit repondre le centre d'effort de la voile ; en faisant en sorte que le rectangle de IO par FI soit effectivement égal à $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$.

Le Problème se réduit à trouver deux quantités IO & IF dont on connoît la différence OF , de même que le produit de l'une par l'autre. Il suffit pour cela d'élever au mât , au point O , qui repond au bas de la voile , une perpendiculaire OY égale à la racine quarrée du second membre $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$; & si on prend après cela pour centre le point X qui est exactement au milieu de FO , & qu'on décrive un demi-cercle $IY\Delta$ qui passe par le point Y ; ce cercle rencontrant le mât en I , indiquera l'endroit où doit ré-

pondre le centre d'effort de la voile. Car la propriété du cercle rend le rectangle de IO par OΔ égal au quarré de OY ou à $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$; mais OΔ étant égal à FI, le rectangle de IO par FI sera aussi égal à $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$, comme il étoit question de le faire.

Au reste cette construction ne peut pas manquer de se reduire aisément au calcul , comme il arrive dans la plupart des Problèmes qui ne font que du second degré. Dans le triangle rectangle XOY nous connoissons les deux côtés XO & OY ; le premier est la moitié de la hauteur OF du bas de la voile au-dessus du point qui sert d'hypomoclion à l'effort du vent , & le second côté OY est égal à la racine quarrée de $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$ qui n'est autre chose que la pesanteur totale P du Vaisseau multipliée par la distance horizontale gQ de sa direction au métacentre , & divisée ensuite par m , qui exprime le nombre de fois que la hauteur de la voile est plus grande que la hauteur de son centre d'effort , par E qui désigne l'impulsion du vent sur un pied quarré de surface , & enfin par la largeur L de la voile. Il n'y aura donc qu'à résoudre le triangle XOY pour avoir l'hypothéneuse XY ; & on aura en même tems XI , dont il ne restera plus qu'à retrancher XO , pour avoir la hauteur requise OI du centre d'effort de la voile. Enfin multipliant OI par la quantité m , on aura la hauteur même OL de la voile , sur laquelle on reglera celle du mât.

II.

Application du Problème précédent à un Vaisseau du premier rang.

Proposons-nous , pour éclaircir toute cette matiere , de découvrir la plus grande hauteur qu'on peut donner à la mâture d'un Vaisseau du premier rang , dont la pesanteur totale P est de 3300 tonneaux ou de 6600000 livres ,

X x x ij

Fig. 100.

& dont le centre de gravité G est 2 pieds au-dessous du métacentre g . Si l'on souhaite que la plus grande inclinaison de ce Vaisseau ne soit que d'environ $9\frac{1}{2}$ degrés, le bras de levier gQ ne sera qu'environ $\frac{1}{3}$ pied à proportion de gG qui est de 2, & on aura 2200000 pour le moment $P \times gQ$, moment qu'on découvrira si on le veut également par l'expérience, comme nous l'avons dit. Supposons outre cela pour plus de facilité, & comme on le peut presque toujours, que la direction DH du choc de l'eau passe par le métacentre; ce qui réunit en un seul les quatre points g , Z , F & C ; & supposons que le bas O de la voile est élevé, à cause des ponts, de 20 pieds au-dessus du point F ou du point g . Il nous faut voir maintenant la largeur que nous devons donner aux voiles; de même que la plus grande force du vent qu'il est à propos que le Vaisseau puisse soutenir.

Les voiles, on ne peut guères les faire par en bas que de deux fois la largeur du Vaisseau ou 96 pieds, en supposant que le Vaisseau en a 48. Par en haut, je crois qu'on peut rendre les basses voiles beaucoup plus larges; c'est à l'expérience à nous apprendre de combien; je les avois, ce me semble, rendues beaucoup trop étendues dans mon Traité de la mâture; mais donnons leur deux largeurs & demi du Vaisseau, ou presque trois largeurs. Enfin supprimons le perroquet, & formons la voilure comme un exagone irrégulier qui résulte de l'assemblage de deux trapezes égaux, si on le veut, qui se joignent par leur plus grand côté; ainsi que le représente la figure 46. L'un sera la voile basse & l'autre la supérieure ou le hunier, & le centre d'effort sera au milieu de la hauteur des deux voiles ou sur la vergue même qui les sépare; ce qui rendra, $m = 2$. Les largeurs étant de 96 pieds, & de 120, la largeur moyenne sera de 108, & si les voiles des deux principaux mâts sont déployées, comme nous devons le supposer ici, & si elles étoient outre cela égales, il faudroit prendre 216 pour la largeur totale; si ce n'est que le vent fait beaucoup plus d'impression lorsqu'il frappe avec un peu moins d'obli-

quité, quoi qu'il ne découvre ensuite qu'une moindre partie des voiles de l'avant. Il n'est pas fort difficile de déterminer les circonstances de cette plus grande impulsion *; mais nous n'assignons que 170 pieds à la largeur totale L. Enfin si on veut que la vitesse respective du vent soit de 35 pieds par seconde, le vent fera une impulsion d'environ 3 livres sur chaque pied quarré de surface qu'il frappera perpendiculairement; mais il y a trois réductions à y faire, dont deux sont assez considérables. Premièrement le vent ne choque pas les voiles à angle droit, & l'angle d'incidence qui rend ici l'impulsion la plus grande qu'il est possible, n'est guères que de 65 degrés. Cet angle, en second lieu, est encore diminué par l'inclinaison du Vaisseau & des voiles; & enfin il ne faut prendre de l'effort absolu du vent que la seule partie qui agit perpendiculairement à la longueur du Navire; puisque c'est cette seule partie qui tend à le faire couler sur le côté. Tout cela me fait conclure, & on peut s'en assurer aisément par le calcul, qu'on ne peut mettre qu'à deux livres, au plus, l'effort E sur chaque pied quarré.

Fig. 100.

Nous connoissons donc maintenant les quantités $P \times gQ = 2200000$, $m = 2$; $L = 170$, & $E = 2$; & nous aurons $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L} = 3235$ qui est le quarré de la perpendiculaire OY. Il ne tient qu'à nous, après cela, d'achever la solution du Problème, ou par une construction géométrique ou par supputation. L'autre côté XO du triangle rectangle XOY est de 10 pieds, moitié de FO ou de gO qui est de

* La règle dont on peut se servir, mais que ce n'est pas ici le lieu de démontrer, parce qu'on ne se propose pas de donner un Traité de Manœuvre, consiste à faire en sorte que la largeur de la partie de la mizaine ou de la voile de la proue, qui est découverte par le vent, jointe avec la largeur entière de la grande voile, fasse une somme précisément égale à la distance diagonale qu'il y a depuis le côté de la grande voile qui est sous le vent, jusqu'au côté de la mizaine qui est au vent. Lorsqu'un des mats a plus de hauteur que l'autre, il n'y a qu'à, par la pente, retrancher l'excès de la hauteur & suppléer sur la largeur de la voile le retranchement fait à son étendue sur l'autre dimension. Mais la règle n'est toujours que sensiblement exacte; parce qu'elle suppose que la vitesse du vent est infinie par rapport à celle du Navire.

Fig. 100. 20 ; & l'hypothéneuse XY fera d'environ $57 \frac{2}{3}$, de même que XI. Par conséquent OI sera de $47 \frac{4}{3}$ pieds , & l'assemblage des voiles de chaque mât ne doit avoir au plus que $95 \frac{1}{3}$ pieds de hauteur. On verra dans le Chapitre suivant les raisons que nous avons de faire les deux mâts également hauts.

Il faut bien remarquer , que l'erreur qu'on commet en confondant le point F avec le métacentre g , ne peut guère tirer à conséquence , parce que la quantité gF est toujours très-peu considérable par rapport à la hauteur de la mâture. La plus grande attention qu'il faut avoir , c'est lorsqu'on ne détermine pas le moment $P \times gQ$ par l'expérience , de chercher avec assez de précision la situation du centre de gravité G par rapport au métacentre , parce que ces deux points n'étant toujours que trop proche l'un de l'autre , pour peu qu'on se trompât dans la quantité Gg qui les sépare , on commettrait une erreur extrêmement sensible dans le moment $P \times gQ$.

Application du même Problème à la Frégate la Gazelle.

C'est une incommodité considérable que d'être obligé de recommencer l'opération pour chaque Navire ; mais on ne peut pas l'éviter , sans retomber dans le défaut que nous avons reproché aux règles vulgaires. Cependant beaucoup de choses sont communes. Si nous voulons trouver , par exemple , la limite de la plus grande hauteur de la mâture de la *Gazelle* , dont le poids total est d'environ 400 tonneaux , ou d'environ 800000 livres , & qui a son centre de gravité G environ $4 \frac{1}{2}$ pieds au-dessous du métacentre g ; nous pouvons admettre la plus grande partie des suppositions que nous avons faites pour le Vaisseau du premier rang. Le bras du levier gQ sera d'environ 9 pouces ou $\frac{3}{4}$ pied , la sixième partie de gG , & nous aurons 600000 pour le moment $P \times gQ$. La largeur moyenne de chaque voile sera de $56 \frac{1}{4}$ pieds , & nous pourrons prendre 89 pieds pour la largeur totale L qui est exposée à l'impulsion. En-

fin nous ferons également $m = 2$ & $E = 2$; ce qui nous donnera 1685 pour la valeur de $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$; & si le bas des voiles est élevé de 6 pieds au-dessus du point F ou du mé-tacentre g, & que nous achevions la solution, nous trouverons un peu plus de 41 pieds pour XI & de 33 pour OI; de sorte que la plus grande hauteur OL de la voilure sera d'environ $76 \frac{1}{4}$ pieds. Ordinairement une assez grande différence dans la largeur en apportera une moindre dans la hauteur: si au lieu de faire la largeur totale de 89 pieds, on la fait de 94 pieds ou de 5 pieds plus grande, la hauteur OL se trouvera de 74 pieds ou de $2 \frac{1}{4}$ pieds plus petite.

Fig. 100.

CHAPITRE V.

Dans lequel après avoir répondu à quelques objections, on examine laquelle des dimensions des voiles on doit s'attacher à augmenter, & s'il est à propos que les différens mâts d'un Navire soient de différentes hauteurs.

I.

NOUS avons regardé dans la solution du Chapitre précédent la situation du centre de gravité du Navire comme donnée; c'est suposer en partie ce qui est en question, puisque la pesanteur de la mâture fait partie de celle du Vaisseau. Mais on sçaura toujours assez d'avance le poids de la mâture & ses dimensions, pour ne se pas tromper sensiblement dans la place qu'on assignera à ce point: & suposé qu'on eût commis une erreur considérable, il n'y auroit qu'à recommencer la solution une seconde fois. Si on ne se permettoit pas d'écarter ainsi les difficultés, en mettant de la distinction entre les circonstances qui n'influent que peu dans le résultat, & celles qui y ont beaucoup de part, on seroit arrêté à chaque pas,

536 T R A I T É D U N A V I R E ,
& les Problèmes dont nous sommes venus à bout le plus aisément, deviendroient presque toujours intraitables.

II.

Nous éludons une difficulté bien plus grande , qui ne se presenteroit à nous que trop , si nous ne nous propositions pas de reformer la figure même du Vaisseau. Nous voulons que nos Navires soutiennent le plus grand effort du vent , & nous supposons pour cela qu'ils portent l'inclinaison le plus loin qu'il est possible. Mais il n'est pas certain qu'il y ait à y gagner : l'expérience prouve souvent au contraire qu'il vaut mieux donner moins de voilure & rendre l'inclinaison moins considérable , pour singler plus vite ; parce que le choc de l'eau se trouve ensuite moins grand. Ce seroit donc un nouveau Problème à résoudre : il faudroit chercher l'inclinaison la plus avantageuse , ou celle qui rend la résistance de l'eau la moindre à proportion de la voilure : la difficulté apartiendrait presque toujours à la Geométrie transcendente ; car la loi que suivent les impulsions lorsque le choc de l'eau se fait sur différentes parties de la carène , doit être fort compliquée ; & il faudroit faire entrer cette considération dans la question qu'on traite actuellement. Mais on peut remarquer que ce qui étoit un sujet de Problème pour presque tous les Auteurs qui ont traité de la mâture , n'en est point pour nous ; parce que nous nous proposons de faire en sorte , en reformant la figure de la carène , que le Vaisseau single le mieux qu'il est possible , lorsqu'il est incliné d'une quantité donnée. Cet expedient fera que nous gagnerons de toutes manieres en étendant les voiles & en faisant augmenter assez l'effort du vent pour porter l'inclinaison jusqu'au terme prévu ; car en même tems que cette plus grande impulsion fera accélérer le sillage , elle obligera encore le Vaisseau d'aller chercher cet état , dans lequel on sçait qu'il doit marcher avec plus de vitesse.

III.

III.

Au surplus , on trouvera presque toujours par l'application de notre règle , qu'il faut , conformément à ce que nous avons déjà dit , s'attacher à diminuer de la hauteur de la mâture , & c'est ce qui deviendra encore plus nécessaire lorsqu'on voudra donner aux voiles la disposition absolument parfaite. On y trouveroit toujours de l'avantage ; quand même on ne réussiroit pas à reparer du côté de leur largeur ce qu'on perdrait sur leur hauteur : au lieu qu'on peut assurer qu'il n'y a au contraire rien à gagner en se conformant à l'ancien usage. Tout ce que les Marins peuvent nous répondre , c'est qu'il est à propos de conserver la grande hauteur des voiles , afin de recevoir le vent qui est plus rapide en haut , & de profiter de cette plus grande force. On reconnoît effectivement , en mesurant la vitesse des nuages , par celle de leur ombre , que le vent est souvent en haut à 7 ou 8 cens toises au-dessus de la Terre , deux fois plus rapide qu'il n'est en bas ; c'est ce que j'ai expérimenté plusieurs fois , & j'ai aussi trouvé avec l'*anémomètre* , qu'une hauteur de 50 ou 60 pieds faisoit presque toujours augmenter d'une cinquième ou d'une quatrième partie son impulsion. Sans doute qu'en Mer où il n'y a point d'obstacle en bas qui arrête le vent , la différence est beaucoup plus petite. Cependant on veut bien ici la supposer plus grande , & la regarder comme excessive : on soutient malgré cela qu'il vaut mieux diminuer de la hauteur des mâts , en élargissant en même tems les voiles ; & qu'on ne sçauroit être trop attentif à procurer ces deux changemens.

Tous les Lecteurs distinguent maintenant l'effort que fait la voile pour faire marcher le Navire , de celui qu'elle fait pour le faire incliner. Ces deux effets sont si différens , quoique le premier produise le second , qu'on peut faire augmenter l'un à volonté , en même tems qu'on fait diminuer l'autre. On souhaite , dans le cas présent , que le

Yyy

Vaisseau porte l'inclinaison jusqu'à un certain terme déterminé , & que la force relative qu'à la voile pour produire cette inclinaison soit par conséquent toujours la même. Ainsi on ne doit retrancher de la hauteur de la mâture qu'autant qu'on peut reparer cette perte par la largeur. Mais comme la surface de la voile , ajoutée par les côtés , sera plus basse que la surface retranchée par le haut , ou qu'elle sera appliquée à un bras de levier moins long , il faudra qu'elle ait non-seulement plus d'étendue , mais qu'elle reçoive aussi plus d'impulsion de la part du vent : autrement elle auroit moins de moment ou de force relative , il n'y auroit pas une exacte compensation à cet égard ; & le Navire s'inclinerait moins qu'il ne faisoit. En un mot , toutes les fois qu'on diminue la hauteur de la mâture , on acquerra la liberté ou le droit de donner plus d'étendue aux voiles , & de gagner plus de surface dans le sens de la largeur , qu'on n'en a perdu dans celui de la hauteur. On est maître d'user de tout ce droit , ou de n'en user qu'en partie , afin de rendre la mâture plus légère , & de pouvoir diminuer aussi , si on le veut , la pesanteur du lest ou de la charge par en bas. Cependant le Navire ne s'inclinera pas davantage ; & la résistance de l'eau restant la même du côté de la carène , ou étant plus petite , l'effort absolu du vent qui sera effectivement plus grand , sans avoir plus d'obstacle à vaincre , ne pourra pas manquer de rendre le fillage plus prompt.

I V.

C'est en suivant à peu près le même raisonnement , que nous pouvons décider s'il est à propos que les mâts d'un Navire soient de différentes hauteurs , conformément à l'usage ordinaire , ou si on doit les faire tous également hauts. Supposons qu'on ait élevé extrêmement le grand mât par rapport à celui de mizaine , & que malgré cela le moment total de toutes les voiles de ces deux mâts , n'ait que la grandeur convenable , ou soit précisément égal au moment de la pesanteur du Navire. Si on diminue la hauteur

du grand mât d'une très-petite quantité, d'une quantité infiniment petite si on le veut, le moment particulier de ses voiles, ou la force relative qu'elles ont pour faire incliner le Navire, souffrira un peu de diminution, à cause du retranchement qu'il faudra faire à leur hauteur; & il faudra par conséquent augmenter la hauteur du mât de mizaine & de ses voiles pour reparer cette perte, & faire que le moment total soit toujours le même; ou que l'inclinaison du Navire soit toujours de la même quantité. Mais on doit remarquer que puisque la petite partie qu'il faudra ajouter à la hauteur du mât de mizaine, sera moins élevée au-dessus du Vaisseau que la petite partie qu'on aura retranchée du grand mât, l'égalité dans le moment total ne pourra être conservée, que lors que la partie ajoutée aux voiles de mizaine sera plus grande que celle qu'on aura retranchée des voiles du grand mât; & il est clair qu'il faudra qu'elle soit plus grande dans le même rapport que le grand mât est plus haut que l'autre. Ainsi il se trouvera un avantage réel dans le changement que nous proposons: quoique le moment ou la force relative des voiles, pour faire incliner le Navire, ne souffre aucune altération, leur étendue, & par conséquent l'impulsion absolue du vent qui s'occupe à faire accélérer le sillage, sera plus grande. Or ce sera la même chose si on repere le même changement une infinité de fois, jusqu'à ce que le grand mât ayant perdu peu à peu tout son excès de hauteur sur l'autre, ils soient devenus égaux; & ce sera encore la même chose, lorsqu'il y aura un plus grand nombre de mâts.

On peut excepter de cette règle le mât d'artimon, parce que ses voiles sont plutôt destinées à faire tourner le Navire dans différens sens, qu'à le faire marcher. Mais à l'égard du mât de mizaine & de celui que les Marins nomment grand mât, parce qu'ils lui donnent effectivement toujours plus de hauteur, il ne se présente aucune exception contre les raisons qu'on vient d'alléguer. Si les voiles de mizaine sont plus étroites, parce que le Navire est moins large vers la proue, ce n'est du tout point un mo-

tif pour diminuer aussi leur hauteur, lorsqu'il est démontré au contraire qu'il n'y a qu'à gagner & nul risque à courir, lorsqu'on l'augmente. D'ailleurs cet excès d'élevation que nous voulons donner à ces voiles, n'en rendra pas la manœuvre plus difficile : elle sera toujours moins pénible que celle des voiles de l'autre mâât qui sont plus larges.

C H A P I T R E V I.

Un Navire étant donné ou déjà construit, déterminer la mâture la plus avantageuse qu'il peut recevoir, lors qu'on a la liberté de le faire enfoncer plus ou moins dans l'eau.

Nous pourrions nous dispenser de travailler à la solution de ce Problème, par les mêmes raisons que nous avons alléguées dans l'article II. du Chapitre précédent : car de même que nous nous proposons de donner à nos Vaisseaux la figure la plus parfaite, pour le cas dans lequel ils s'inclinent d'une quantité déterminée, nous aurons aussi toujours en vûe un certain degré d'enfoncement précis pour leur carène. Cependant comme l'occasion ne manquera jamais de mâter quelques Navires construits sans dessein & comme au hasard, nous allons insister ici sur la manière de satisfaire à la difficulté : nous le faisons d'autant plus volontiers, qu'on pourra, en employant le même moyen, résoudre toutes les difficultés qui s'offriront sur le même sujet, sans excepter celle dont nous parlions au commencement de l'autre Chapitre.

I.

On ne peut guère se dispenser dans ce Problème, ainsi que nous l'avons dit dans le premier Livre, aussi-tôt qu'on veut descendre assez dans le détail pour que l'examen soit

de quelque utilité pour la pratique , d'avoir recours à quelque espece d'aproximation ou de voyes mécaniques. Il suffira néanmoins toujours , à ce que nous croyons , de considerer le Navire en trois ou quatre états différens , renfermés entre des limites qu'il sera toujours facile de reconnoître. La carène ne doit pas plonger jusqu'à faire entrer dans l'eau ses plus grandes largeurs ; il est nécessaire qu'elles restent élevées au-dessus de la surface de la Mer d'une certaine partie *du creux* , comme d'une huitième ou d'une neuvième. Voilà déjà un des termes qu'il n'est pas permis de violer ; & c'est celui du plus grand enfoncement. Le second est un peu plus indécis : car outre l'enfoncement , qui est absolument nécessaire pour soutenir le poids particulier du Navire , il faut toujours mettre quelque lest ou quelque charge dans la cale , ce qui augmente encore ce premier enfoncement. Mais enfin la difficulté ne sera jamais grande , l'opération seulement sera longue , de chercher les dimensions de la mâture pour ces deux différens états , & pour quelques autres pris entre deux. Les voiles auront toujours la même largeur ; il n'y aura que leur hauteur qui sera sujette à changer , selon que le Navire se trouvera avoir plus ou moins de stabilité , ou de force pour soutenir l'effort du vent. Il ne restera plus après cela qu'à examiner la grandeur de l'impulsion de l'eau sur la partie de la prouë actuellement choquée. La méthode que nous avons donnée pour cet examen dans le Chapitre VI. de la premiere Section de ce troisième , a cet avantage qui lui est propre , que comme on partage la prouë en plusieurs tranches par des plans horisontaux , on pourra toujours avec une extrême facilité retrancher de l'impulsion que recevrait la surface entiere , toutes les portions qu'on voudra. Or il ne sera plus ensuite question que de s'arrêter au degré précis d'enfoncement de la carène , qui rend l'étendue des voiles la plus grande qu'il est possible par rapport à l'impulsion de l'eau : car on sçait que c'est cette disposition qui doit procurer la plus grande célérité au sillage. Il est inutile , ou plutôt il est dangereux , de rendre l'impul-

sion du vent absolument la plus forte , & il ne le seroit pas moins de faire que la resistance de l'eau contre la prouë fût très-petite : l'avantage consiste à rendre la premiere de ces forces la plus grande qu'il se peut , relativement ou eu égard à la seconde , comme nous l'avons déjà dit tant de fois. Il n'y aura donc qu'à diviser toujours l'étendue des voiles ou la hauteur de la mâture par l'impulsion de l'eau dans chaque cas ; sans qu'il soit nécessaire pour cela de reduire ces grandeurs à la même espece : le plus grand exposant ou le plus grand quotient marquera la disposition qu'il faut adopter ; parce qu'il sera l'*argument* de la plus grande vitesse.

On pourra résoudre de la même maniere la plupart des autres questions qui se présentent touchant l'*assiete* , & il n'y aura pas plus de difficulté à déterminer d'avance la profondeur qu'on doit donner aux Navires , & toutes les autres dimensions de leur carène , lorsqu'on travaillera à en faire le projet. Il ne sera pas nécessaire d'instituer chaque fois un calcul entierement nouveau : il suffira presque toujours de faire trois ou quatre hypothèses , afin de voir distinctement quel est le progrès de ces exposans dont nous venons de parler , & de sçavoir dans quel sens ils augmentent. Nous avons encore une fois que toutes ces opérations sont un peu longues ; mais elles cesseront de le paroître , lorsqu'on fera attention qu'on peut les reduire à quelques heures de travail , à l'aide d'un peu d'exercice. Qu'on pense outre cela que plusieurs Vaisseaux ne se trouvent très-mauvais voiliers , qu'ils ne marchent très-mal , ou qu'ils ne sont exposés au péril de verser aussi-tôt que le vent devient un peu fort , que parce qu'on ne réussit pas à trouver la disposition particuliere qu'ils demandent ; quoi qu'on la cherche quelquefois en Mer pendant dix ou vingt ans , ou pendant tout le tems de leur service.

Si les différentes étendues des voiles exprimées numériquement pour chaque cas , ne se divisoient pas commodement par les impulsions de l'eau , il n'y auroit , si on le vouloit , qu'à augmenter ces premieres quantités d'un

certain nombre de zéros ; puisqu'il n'importe que ces exposans soient plus ou moins grands , & qu'il ne s'agit que de voir la grandeur qu'ils ont les uns par rapport aux autres. Plus on en aura calculé un grand nombre , mieux on s'assurera de la loi qu'ils suivent , & on en inferera mieux la grandeur qu'ils doivent avoir dans tous les autres cas. On y réussira toujours sans peine , en les comparant à une expression générale , mais indéterminée , qu'on rendra spécifique en l'accommodant aux circonstances particulières , ou en l'assujettissant aux exposans déjà trouvés. Supposé qu'on eût calculé quatre de ces exposans , il n'y auroit qu'à prendre pour leur expression générale une quantité formée de quatre termes , comme $lz^3 + mz^2 + nz + p$, dans laquelle les coefficients l, m, n, p sont indéterminés , pendant que la variable z désigne les divers enfoncemens de la carène , non pas ses enfoncemens absolus ; mais leurs excès à l'égard du premier ou du moindre , c'est-à-dire , les quantités verticales dont on suppose que le Navire cale davantage dans les autres cas que dans le premier. La variable z désigneroit également ou l'inclinaison du Navire ou la quantité dont il plonge plus vers la poupe que vers la proue , ou toute autre circonstance , si elle faisoit le sujet de la question.

Mais au lieu de supposer ici quatre exposans connus , nous n'en considererons que trois , pour une plus grande simplicité ; & nous nous bornerons à l'expression $mz^2 + nz + p$ qui est alors suffisante. Nous nommerons a, b & c ces trois exposans ; & nous suposerons que les trois différens enfoncemens de la carène pour lesquels ils sont calculés , se surpassent également de la quantité e . Ainsi ces exposans appartiendront aux trois cas dans lesquels z sera égale ou à zéro , ou à e , ou à $2e$; & nous n'aurons donc qu'à introduire successivement ces trois valeurs de z dans l'expression générale $mz^2 + nz + p$, pour l'obliger de devenir égale aux trois quantités a, b & c . Nous aurons , en un mot , les trois équations , $p = a$; $me^2 + ne + p = b$; $4me^2 + 2ne + p = c$, par le moyen desquelles nous pouvons confor-

544 T R A I T É D U N A V I R E ;
 mement aux regles ordinaires d'Algèbre, chasser m , n & p ; & notre expression générale des expofans deviendra

$$\frac{a - 2b + c}{2e^2} \times z^2 - \frac{3a + 4b - c}{2e} \times z + a$$
 qui ne contient plus,

comme on le voit , que des grandeurs connuës , [puifqu'il faut confiderer comme telle la variable z . Nous pouvons donc maintenant, à l'aide de cette expreffion, trouver les expofans ou les *argumens* de la viteffe du fillage pour tous les cas que nous voudrons ; & il ne reffe plus qu'à en déterminer le *maximum* , pour connoître la difpofition la plus avantageufe , ou celle qui rend l'étendue des voiles la plus grande qu'il eft poffible , eu égard à la réfiftance de l'eau contre la prouë. Il n'y a enfin qu'à prendre la differentielle & l'égalier à zero ; & on en déduira $z = \frac{3a - 4b + c}{2a - 4b + 2c}$

$\times e$, *formule* qui réfoud effectivement le Problème , en nous aprenant l'excès précis z d'enfoncement dont il faut faire caler la carène , pour que le Navire , avec la mâture convenable , fingle le plus vite qu'il eft poffible.

Supofons , pour en donner un exemple , que 1°. Pour le moindre enfoncement de la carène , la mâture que peut foutenir le Navire n'ait que 84 pieds de hauteur , ce qu'on trouvera par les regles expofées ci-devant , & qu'alors la réfiftance que fouffre la prouë foit la même que fi l'eau choquoit perpendiculairement une furface plane qui eût 42 pieds quarrés d'étendue. 2°. Que lorsque la carène enfonce dans l'eau de deux pieds de plus , la hauteur de la mâture foit de 117 pieds , & qu'alors la furface convexe de la prouë fe reduife , quant à la réfiftance qu'elle éprouve de la part de l'eau , à une furface plane de 45 pieds quarrés ; & qu'enfin 3°. Lorsque le Navire cale encore de deux pieds de plus , la mâture doive avoir 120 pieds de hauteur , & que la furface de la prouë fe réduife à un plan de 50 pieds quarrés. Nous multiplierons d'abord , pour la commodité du calcul , ou pour éviter les fractions , les trois différentes hauteurs de la mâture par un nombre arbitraire 5 , & divifant enfuite ces trois produits par l'étendue des plans

plans auxquels la surface courbe de la prouë se réduit dans chaque cas , nous trouverons 10, 13 & 12 pour les trois exposans a , b & c , ou pour les trois différens degrés d'avantages qu'a le Navire dans les trois hypothéses ou diverses dispositions. Enfin introduisant ces derniers nombres dans la formule , en mettant deux pieds à la place de e ;

nous trouverons $z \left(= \frac{3a - 4b + c}{2a - 4b + 2c} \times e \right) = 2\frac{1}{2}$; ce qui nous

apprend , qu'au lieu de s'arrêter au premier cas ou au second , on doit faire caler le Navire de $2\frac{1}{2}$ pieds plus que dans le premier , ou de $\frac{1}{2}$ pied plus que dans la second , & que c'est pour ce degré précis d'enfoncement qu'on doit disposer réellement la mâture. Il est vrai que cette solution n'est qu'aprochée ; puisque nous supposons que les exposans changent selon une loi qu'ils ne peuvent suivre exactement que par hazard. Mais en tout cas , si l'on craignoit quelque erreur , il n'y auroit qu'à recommencer la solution une seconde fois , après avoir calculé les trois premiers exposans pour trois enfoncemens moins différens les uns des autres , & plus voisins de celui que la premiere solution auroit fourni. Un dernier avis que nous ne devons pas oublier , quoi qu'il ne soit que pour quelques Lecteurs ; c'est que si le second exposant b étoit le plus petit des trois , notre formule ne donneroit pas alors un *maximum* , mais un *minimum* : ainsi au lieu de s'arrêter à la disposition qu'elle indiqueroit , il faudroit au contraire s'en éloigner le plus qu'il seroit possible.

II.

La difficulté qui oblige dans ce Problème d'avoir recours aux méthodes d'aproximation , lorsqu'on veut le traiter d'une maniere utile pour la pratique , vient de ce qu'on ne peut pas considerer les Navires comme des corps géométriques ou homogènes , & de ce qu'il n'est pas aisé non plus d'avoir une expression générale de l'impulsion de l'eau sur les différentes portions de leur carène. Nous allons ,

Z z z

afin de repandre un plus grand jour sur la question, tacher néanmoins de la résoudre d'une manière plus rigoureuse, pour les Navires formés en parallélipipede rectangle : cette figure a ses avantages, comme nous l'avons assez montré; d'ailleurs notre examen ne se fera pas sans fruit; il sera susceptible d'application.

Fig. 61. Supposons que la figure 62 représente la coupe de ce Navire, faite perpendiculairement à sa longueur. Je nomme a sa demie largeur FB ; b la hauteur de son centre de gravité particulier au-dessus du fond E de la carène; c la moindre quantité dont il faut qu'il plonge pour que l'eau déplacée soit capable de le soutenir, lorsqu'il n'a point de charge; m la pesanteur spécifique de la matière qui doit servir de lest; n celle de l'eau marine; & x l'enfoncement du Navire, lorsqu'il sera chargé.

Toutes ces choses supposées; nous trouverons la hauteur du centre de gravité commun du Navire & de sa charge en suivant le même procédé que dans le Chapitre X. de la seconde Section du second Livre. La pesanteur particulière du Navire le fait enfoncer dans l'eau de la quantité c ; nous prendrons cet enfoncement pour l'expression de cette pesanteur particulière, & nous aurons bc pour son moment par rapport au fond de la carène, qui servira de terme ou de point fixe pendant la recherche du centre de gravité. Lorsqu'on introduira le lest dans la cale, le Navire qui plongeait de la quantité c , le fera ensuite de la quantité x ; ainsi $x - c$ exprimera la pesanteur particulière du lest; & comme ce lest doit occuper d'autant moins de place, qu'il est plus pesant que l'eau marine, ou que m est plus grande que n , nous aurons $\frac{n}{m} \times x - c$ pour sa hauteur dans la cale & $\frac{n}{2m} \times x - c$ pour celle de son centre de gravité. Je multiplie cette hauteur par $x - c$, qui désigne la pesanteur, & il vient $\frac{n}{2m} \times x - c$ pour le moment particulier du lest; moment qui étant ajouté à celui du corps

du Navire , donne $bc + \frac{n}{2m} \times x - c$ pour la somme des momens. Il ne reste plus qu'à diviser cette somme par x , qui désignant l'enfoncement total , exprime la somme des pesanteurs; il viendra $\frac{bc}{x} + \frac{n}{2m} \times \frac{x-c}{x}$ pour la hauteur du centre de gravité commun au-dessus du fond E de la carène.

A l'égard du métacentre , il est élevé de la quantité $\frac{a^2}{3x}$ au-dessus du centre de gravité de la partie sumergée * , & par conséquent de la quantité $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x$ au-dessus du fond de la carène. Ainsi il est élevé de $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x - \frac{bc}{x} -$

* Voyez
l'art. 1. du
Chap. 4.
de la 2. Sect.
du 2. Liv.

$\frac{n}{2m} \times \frac{x-c}{x}$ au-dessus du centre de gravité commun du Navire & de sa charge. Il faut multiplier , comme on le sçait ; cette quantité par la pesanteur totale du Vaisseau pour avoir sa stabilité , ou la force qu'il a pour soutenir l'effort du vent contre les voiles. Nous obtiendrons la pesanteur totale actuelle du Vaisseau , en nommant g sa longueur exprimée en pieds de Roy , & en multipliant cette dimension par la largeur $2a$ & par la profondeur x de la partie sumergée , lesquelles doivent être aussi en pieds de Roy. Nous aurons $2agx$ pour le solide qu'il ne resteroit plus qu'à multiplier par la pesanteur du pied cubique d'eau de Mer , pour avoir la pesanteur totale. Mais comme il se fait une réduction au levier , qui à cause du peu d'inclinaison que reçoit le Navire dans les routes obliques , se trouve environ six fois plus petit , nous ne multiplierons pas la solidité $2agx$ de la partie sumergée par la pesanteur entière 72 livres du pied cubique , nous ne la multiplierons que par une certaine partie de cette pesanteur , par exemple , 12 livres que nous exprimerons généralement par p . Nous avons donc $2agpx$; & multipliant ce produit par la quantité $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x - \frac{bc}{x} - \frac{n}{2m} \times \frac{x-c}{x}$ dont le centre de gravité

Z z z ij

Fig. 61. Commun est au-dessous du métacentre, il nous viendra

$2agp \times \frac{1}{3} a^2 + \frac{1}{2} x^2 - bc - \frac{n}{2m} \times x - c$ pour le moment de la pesanteur du Navire ou pour la force relative qu'il a pour soutenir la voile dans les routes obliques; force relative sur laquelle nous devons régler la hauteur de la mâture, comme nous l'avons expliqué dans le Chapitre III. & IV. qui précédent.

Nous nommons h cette hauteur ou plutôt celle des voiles; l leur largeur commune, & e la quantité dont leur base est élevée au-dessus du fond de la carène. Leur surface sera hl , que nous multiplierons par l'effort i que fait le vent sur chaque pied carré de surface; ce qui nous donne hli pour la grandeur de l'impulsion, qui se réunit dans le milieu de la voile comme centre, & qui s'exerce par conséquent sur une direction élevée au-dessus du fond E de la carène de la quantité $\frac{1}{2} h + e$. Il ne reste plus après cela qu'à faire attention que le point qui sert d'hypomocion à l'effort des voiles, est au milieu de la partie immergée*. Ainsi le bras de levier auquel est appliqué l'effort hli du vent, n'est pas $\frac{1}{2} h + e$, mais $\frac{1}{2} h + e - \frac{1}{2} x$; & nous aurons donc $hli \times \frac{1}{2} h + e - \frac{1}{2} x$ pour le moment de l'effort du vent qui doit être égal à cause de l'équilibre, au mo-

* Voyez
l'art. 1. du
Chap. 4.
précédent.

ment trouvé ci-devant $2agp \times \frac{1}{3} a^2 + \frac{1}{2} x^2 - bc - \frac{n}{2m} \times x - c$ de la pesanteur du Vaisseau. C'est-à-dire, que nous avons l'équation $hli \times \frac{1}{2} h + e - \frac{1}{2} x = 2agp \times \frac{1}{3} a^2 + \frac{1}{2} x^2 - bc - \frac{n}{2m} \times x - c$ dans laquelle nous n'avons qu'à traiter h comme inconnue, & résolvant l'équation, qui ne sera que du second degré, nous découvrirons la hauteur h de la mâture par rapport à toutes les autres quantités.

Si on divise ensuite cette valeur de h , qui est proportionnelle à l'étendue des voiles par l'enfoncement x , qui est proportionnel aux diverses surfaces de la carène ou aux impulsions que reçoit la proue de la part de l'eau dans les

différens cas , on obtiendra l'expression générale des quotiens ou expofans dont nous parlions dans l'article I. Ces quotiens fervent d'*argumens* à la rapidité du fillage ; il n'y aura donc qu'à en chercher le plus grand. Fig. 62.

On prendra pour cela , comme à l'ordinaire , la différentielle , on l'égalera à zéro , & il ne s'agira plus que d'en déduire x , qui fera la feule inconnue , & dont la plus haute dimension ne fera que le quarré ; de forte que l'équation à refoudre ne fera encore que du fecond degré. Connoiffant ainfi l'enfoncement de la carène le plus avantageux , on apprendra par de fimples fubftitutions la quantité du leſt la plus convenable , de même que la hauteur que doit avoir effectivement la mâture , pour rendre le Navire propofé capable de ſingler avec la plus grande rapidité poſſible.

On pourra ſouvent négliger la quantité dont le bas de la voile eſt élevé au-deſſus du milieu de la partie ſumergée de la carène ; & alors le calcul fera beaucoup plus ſimple. La hauteur de la mâture ſera proportionnelle à la racine

quarrée de la ſtabilité $2agp \times \frac{1}{3}a^2 + \frac{1}{2}x^2 - bc - \frac{n}{2m} \times x - c$ du Navire. Ainſi ſi elle n'eſt pas égale à $\sqrt{\frac{1}{3}a^2 + \frac{1}{2}x^2 - bc - \frac{n}{2m} \times x - c}$, elle ſuivra au moins toujours le même rapport ; & ſi on la diviſe par l'enfoncement x , qui peut toujours exprimer les diverſes impulſions que ſouffre la proue ,

il n'y aura qu'à faire de $\frac{\sqrt{\frac{1}{3}a^2 + \frac{1}{2}x^2 - bc - \frac{n}{2m} \times x - c}}{x}$ un *maximum*. La différentielle de cette quantité étant égalée à zéro , donne la formule $x = \frac{2m}{n}b + c - \frac{2m}{3n} \times \frac{a^2}{c}$ qui ſatisfait au Problème.

Supoſé que la demie largeur a ſoit de 20 pieds , la hauteur b du centre de gravité particulier du Navire au-deſſus du fond de la carène de 21 pieds , & que la peſanteur particulière du Vaiſſeau ſoit telle qu'elle produiſe ſeule un en-

foncement c dans l'eau de 7 pieds. Supposé outre cela que le lest soit d'une pesanteur spécifique double de celle de l'eau marine, de sorte que si $n = 1$, on ait $m = 2$, la formule précédente nous donnera $x = 14 \frac{17}{11}$ pieds; ce qui nous apprend que le Navire proposé, qui n'enfonçoit dans l'eau que de 7 pieds lorsqu'il étoit sans charge, doit enfoncer de $14 \frac{17}{11}$, pour que tout équipé, il puisse, avec la mâture convenable, singler le mieux qu'il est possible. Au reste nous ne devons pas oublier les remarques suivantes que nous suggere la même formule.

On doit donner une plus grande charge au Vaisseau ou le faire caler davantage; toutes les fois 1°. Que la hauteur b est plus grande, ou que le centre de gravité particulier du Navire est plus élevé; toutes les fois 2°. Que la pesanteur particulière du Navire est plus grande, ou que sans charge il enfonce dans l'eau d'une plus grande quantité c ; toutes les fois 3°. Que a est plus petite ou que le Navire est plus étroit; enfin 4°. Presque toutes les fois que la pesanteur spécifique du lest est plus grande par rapport à celle de l'eau marine. Si toutes les autres circonstances étant les mêmes, le lest est, par exemple, cinq fois plus pesant que l'eau de Mer, on trouvera $26 \frac{11}{11}$ pieds, au lieu de $14 \frac{17}{11}$ pour l'enfoncement le plus avantageux. Il pourra arriver que le Navire ne soit pas assez profond pour caler d'une si grande quantité: on ne pourra pas profiter alors du *maximum* que fournit notre solution, & on sera obligé de sacrifier à la sûreté de la navigation quelque chose de sa promptitude; il faudra consentir à singler un peu moins vite pour ceder au plus puissant des intérêts. Mais on saura toujours au moins qu'il faut faire plonger le Navire le plus qu'il est possible, & que c'est pour ce plus grand enfoncement que les dimensions de la mâture doivent être réglées. Si lorsque le Navire a 19 ou 20 pieds de profondeur, on trouvoit au contraire que son enfoncement le plus avantageux n'est que de 13 ou 14 pieds, on concluroit qu'une partie de sa profondeur est inutile, au moins pour la promptitude de la marche. Ainsi nos solutions appliquées

LIVRE III. SECTION IV. CHAP. VII. 551
d'avance aux Navires qui ne sont encore que projetés ,
apprendront toujours à en corriger les plans ou les profils
& à les mieux former.

CHAPITRE VII.

*De la forme que doivent avoir les Vaisseaux dans le
sens de leur grosseur pour mieux porter la
voile & aller plus vite.*

I.

IL nous sera facile par les regles exposées dans les Chapitres précédens , de trouver les dimensions de la mâture que demande chaque Navire : quelque mal formé qu'il soit , nous trouverons toujours aisément la disposition & la grandeur de la voilure qui lui convient le mieux. Sans doute qu'il est cependant une certaine figure qui donne aux Vaisseaux plus d'avantage en cela , ou qui les rend plus propres à recevoir une bonne mâture ; & nous ne devons pas manquer d'en examiner plus particulièrement les conditions. Heureusement la plûpart des choses que nous avons déjà dites dans le second livre touchant la stabilité des Navires , trouvent actuellement une seconde application ; la force relative avec laquelle le Navire soutient l'effort du vent ne différant pas de celle qu'il a pour persister dans sa situation horisontale ou pour y revenir ; l'une & l'autre étant le produit ou proportionnelles au produit de la pesanteur par la quantité dont le centre de gravité est au-dessous du métacentre. On a vû la propriété qu'a à cet égard la carène qui est formée en parallélipede rectangle ; c'est ce qui nous a obligé d'examiner souvent cette figure : les Chinois entreprenent d'assez longues navigations dans des Vaisseaux qui l'ont à peu près ; & on pourroit d'ailleurs retrancher ce qu'elle a de nuisible , en con-

servant tout ce qu'elle a d'avantageux. Rien n'empêche de donner au moins à toutes les coupes faites perpendiculairement à la quille la forme de rectangle , en faisant terminer la carène en pointe vers la prouë & vers la poupe comme à l'ordinaire. Le Navire auroit ensuite la propriété de bien soutenir la voile , en même tems qu'il seroit d'une capacité beaucoup plus grande.

Nous ne voyons rien de mieux pour la construction des Navires qui ne sont destinés qu'à porter un grand poids. On n'entend pas dans la rigueur qu'on fasse rectangulaires les coupes perpendiculaires à la longueur , on doit sans doute en émousser les angles ; mais plus les coupes de la carène approcheront de la figure rectangulaire , plus le Navire aura d'avantage en fait de charge & de transport. Si les coupes étoient des demi-cercles , & si on suppose , comme on le doit ici , que la saillie de la prouë produise toujours une semblable diminution dans la résistance de l'eau , cette résistance se trouveroit moindre dans le même rapport qu'un demi-cercle est plus petit que le rectangle circonscrit : c'est-à-dire , dans le rapport de 11 à 14 ; & la vitesse du sillage n'augmenteroit guères que d'une neuvième partie , comme on peut s'en assurer par un calcul semblable à celui du Chapitre I. de la seconde Section. Mais cette plus grande célérité ne compenseroit pas , & il s'en faudroit même beaucoup , la moindre quantité de charge que le Navire porteroit ensuite ; puisque sa cale seroit plus petite que celle de l'autre Vaisseau dans le rapport de 11 à 14. Il faut encore ajouter de plus à l'avantage de ce dernier ou de celui dont les coupes sont rectangulaires , que si on trouve qu'il singe moins vite que le premier d'une neuvième partie : c'est en supposant qu'il n'a que la même quantité de voiles , au lieu qu'il est démontré qu'il peut en porter beaucoup plus. Ainsi la différence entre les vitesses seroit encore plus petite , elle ne seroit quelquefois que d'une quinzième ou seizième partie ; pendant que celle qui se trouve entre les pesanteurs de la charge subsisteroit toute entière & que le Navire seroit presque d'un quart plus

de

de port. Or il paroît après cela qu'on ne doit point balancer à augmenter encore le plat des varangues de la plupart des Gabares, des Flutes & de tous les autres bâtimens qui ne servent que pour le transport. Nous ajouterons que cet avantage qu'à la figure rectangulaire, sur la circulaire, toutes les figures intermédiaires l'ont aussi en partie: on augmentera toujours plus à proportion le port d'un Navire, lorsqu'on élargira sa carène par en bas, qu'on ne fera diminuer la vitesse de son sillage.

II.

Mais supposons qu'au lieu d'un Navire de charge, il s'agisse d'une Frégate legere, d'une Corvette, qui ne doit avoir d'autre usage que de passer avec la plus grande vitesse possible d'un endroit à un autre, sans être embarrassée d'artillerie ni d'aucun poids étranger, si on en excepte le lest qui est absolument nécessaire, pour contrebalancer le poids de la mâture & des autres parties supérieures. On remarquera d'abord qu'il n'est pas ici question de la figure qui fait absolument le mieux porter la voile ou qui donne plus de stabilité au Navire: car cette figure qui est celle dont nous venons de parler, feroit cause que le Navire trouveroit en même tems beaucoup plus de résistance à fendre l'eau. Ainsi la forme que nous cherchons, est celle qui augmente le plus qu'il est possible la force pour porter la voile, eu égard à la résistance que la prouë éprouve par la rencontre de l'eau.

Il paroîtra peut-être assez surprenant que la figure du Navire doive être différente, selon la pesanteur spécifique des choses dont il est chargé: ce sera cependant encore la même chose dans la suite, lorsqu'il sera question de tracer les lignes courbes qui forment les côtés de la carène dans le sens de sa longueur. Mais on peut dans l'usage ordinaire supposer toujours que le lest est deux fois plus pesant que l'eau marine, parce que si on y mêle quelques parties de fer, il faut aussi y comprendre d'autres choses beau-

* Chap. 9.
Sect. 2.

Fig. 61.

coup plus legeres , comme le poids de toutes les munitions de bouche. Il ne restera plus après cela qu'à se ressouvenir du Théoreme établi dans le Livre précédent *, que lorsqu'on ajoute par en bas aux deux côtés de la carène deux triangles POp & que la pesanteur spécifique du lest est double de celle de l'eau de Mer , la stabilité du Navire qui étoit exprimée par $APPB$ multipliée par la quantité Gg , se trouve augmentée des deux petits triangles OPp multipliés par la quantité HK dont leur centre de gravité particulier est plus bas que la surface MM du lest. C'est-à-dire , que nommant E l'étendue $AOPPOB$, & e l'étendue des deux petits triangles ajoutés OPp , on aura , comme dans l'endroit déjà cité , $E \times Gg$ pour la stabilité du Navire dans le premier cas , & $e \times HK$ pour l'augmentation qu'elle reçoit dans le second ; ou $E \times Gg \pm e \times HK$ pour cette seconde stabilité entiere , selon qu'on a ajouté ou retranché les deux petits triangles. L'augmentation ou la diminution , au lieu d'être $e \times HK$, sera $n - 1 \times e \times HK$, si la pesanteur spécifique du lest est plus grande que celle de l'eau marine le nombre de fois n . Il est clair après cela que le Navire doit soutenir une plus grande voilure , dans la circonstance presente , lorsque les deux petits triangles sont ajoutés ; mais on doit remarquer qu'il n'est pas permis d'augmenter l'étendue des voiles dans le même raport que la stabilité est plus grande. La voile a toujours la même largeur , puisque nous ne changeons point la largeur du Navire par en haut : il n'y a que la hauteur de la mâture que nous augmenterons plus ou moins. Mais en même tems que nous l'augmentons , son centre d'effort qui est au milieu de sa hauteur , se trouve plus haut ; & cela fait que son moment augmente sensiblement comme le quarré de sa hauteur. Or comme c'est ce moment qui doit être égal ou proportionel à la stabilité du Navire , qui n'est elle-même autre chose qu'un moment , il est clair que ce n'est pas la hauteur de la voile , mais le quarré de cette hauteur , qui doit augmenter en même raison que la

stabilité: & il suit de là que la hauteur de la voile doit Fig. 61. changer à peu près deux fois moins à proportion que la stabilité. Car lors qu'un quarré reçoit un très-petit changement, son côté n'en reçoit à proportion qu'un deux fois moindre.

Ainsi lorsque la stabilité du Navire, qui étoit $E \times Gg$, reçoit la petite augmentation $e \times HK$ & devient $E \times Gg + e \times HK$ par l'addition des deux petits triangles OPp aux deux côtés de la carène, la hauteur de la voile ou son étendue, au lieu d'être augmentée dans le raport de $E \times Gg$ à $e \times HK$ ne le doit être que dans celui de $E \times Gg$ à $e \times \frac{1}{2} HK$, ou généralement dans celui de $E \times Gg$ à $e \times \frac{n-1}{2} \times HK$. Cela supposé, & nous bornant toujours au cas particulier, il ne nous reste plus pour décider sûrement s'il est avantageux d'ajouter ou de retrancher les deux petits triangles OPp , qu'à voir si $e \times \frac{1}{2} HK$ comparé à $E \times Gg$, est plus ou moins grand, que e par raport à E . Car de même que $e \times \frac{1}{2} HK$ comparé à $E \times Gg$ représente le petit changement qu'on peut faire à la grandeur de la voile & à l'effort total du vent, e comparée à E , exprime le petit changement que reçoit la résistance de l'eau; puisque le conoïde qui forme la prouë est toujours censé recevoir de la part de l'eau, une impulsion qui est une certaine partie de celle que recevrait la surface E ou $E + e$ qui lui sert de base.

Nous avons maintenant trois cas à distinguer, 1°. Si Gg est égal à la moitié de HK , il y aura même raport de $e \times \frac{1}{2} HK$ à $E \times Gg$ que de e à E , & comme il faudra alors augmenter l'étendue des voiles ou leur hauteur, précisément dans le même raport que l'étendue E de la coupe $APPB$, il n'y aura ni avantage ni desavantage à donner plus ou moins de plat aux varangues, ou à ajouter ou à retrancher les deux petits triangles OPp à la carène: car l'étendue de la voile suivant précisément le même raport dans son changement, que l'étendue de la coupe $APPB$ dans le sien, on ne gagneroit pas plus de la part de l'impulsion du vent, qu'on ne perdrait en même tems du côté de

Fig. 61.

la résistance de l'eau. 2°. Si $\frac{1}{2} HK$ est plus grande que Gg , le produit $e \times \frac{1}{2} HK$ sera plus grand par rapport à $E \times Gg$, que e par rapport à E . On pourra augmenter par conséquent l'étendue de la voile en plus grand rapport qu'on ne fera augmenter l'étendue de la coupe APPB, & il y aura donc de l'avantage à augmenter le plat des varangues ou à ajouter les petits triangles OPp. Enfin, 3°. Si $\frac{1}{2} HK$ est moindre que Gg , le produit $e \times \frac{1}{2} HK$ sera moindre par rapport à $E \times Gg$, que e par rapport à E . Ainsi lorsqu'on augmentera l'étendue E de la coupe APPB de la quantité e , on ne pourra pas procurer une si grande augmentation à l'étendue de la voile, & il y auroit donc alors du désavantage; on perdrait plus par la plus grande résistance de l'eau, qu'on ne gagneroit du côté de l'impulsion du vent. Or c'est ici le cas qui a lieu dans les Frégates legeres & dans toutes les autres especes de Navires qui ne sont destinés qu'à bien marcher. Dans la Gazelle, par exemple, le centre de gravité G est au-dessous du métacentre g d'environ 5 pieds, en même tems que le lest peut occuper à peine dans la cale 7 ou 8 pieds de hauteur EK . La moitié de HK ne peut donc pas manquer d'être moindre que Gg , & par conséquent $e \times \frac{1}{2} HK$ est toujours moindre par rapport à $E \times Gg$, que e par rapport à E .

Il suit de là qu'au lieu d'augmenter le plat des varangues dans les Frégates legeres, il faut au contraire en retrancher; parce qu'on fera plus diminuer à proportion la résistance de l'eau, qu'on ne sera obligé de diminuer en même tems l'étendue des voiles. La diminution de la résistance de l'eau sera toujours exprimée par e comparée à E , & il est évident toutes les fois que $\frac{1}{2} HK < Gg$, que cette diminution sera plus grande que celle qu'on fera à la hauteur ou à l'étendue de la voile qui est exprimée par $e \times \frac{1}{2} HK$ comparé à $E \times Gg$, ou par $e \times \frac{\frac{1}{2} HK}{Gg}$ comparé à E . On doit donc retrecir la carène par en bas le plus qu'on peut, & il y a souvent à gagner à faire disparoître le plat des varangues. Il est vrai que toutes les suppositions que nous

avons faites sur la situation du centre de gravité , sur celle du métacentre & sur la hauteur du lest , peuvent bien s'éloigner un peu du vrai ; mais elles ne s'en éloigneront jamais assez , pour nous faire tromper dans nos conclusions.

Au reste on doit remarquer que s'il y a de l'avantage dans les Frégates de retrancher de l'étendue de la carène en bas par les côtés , il n'est ici question que de toucher aux seules largeurs sans diminuer la profondeur. C'est la grandeur de cette dernière dimension qui procure au Navire , avec plusieurs autres avantages , la propriété de dériver moins , propriété qui doit nous être encore plus précieuse que celle de Naviger avec promptitude. Nous avons indiqué dès le commencement de ce troisième Livre une cause qui contribué peut-être beaucoup à faire diminuer la dérive , lors qu'on augmente la profondeur du Navire *. Mais outre cela , plus le Navire a de creux , plus il plonge en bas dans une eau tranquille , & moins il participe à l'agitation des vagues qui ne sont que superficielles , & qui poussant de côté dans les routes obliques , causent une dérive accidentelle , mais très-grande , qui se joint à la première. Le seul moyen d'y remédier , c'est de rendre la carène plus profonde.

Nous concluons cet article , en ajoutant qu'on pourra se contenter de donner aux coupes des Frégates une Figure exactement circulaire : ce sera toujours perfectionner la forme qu'elles ont actuellement. Mais nous montrerons plus bas , que si on vouloit saisir tout d'un coup la disposition la plus avantageuse , sans s'arrêter à corriger peu à peu les pratiques qui sont actuellement en usage , il faudroit rendre les flancs exactement des lignes droites depuis le haut jusqu'en bas ; & alors on donneroit à la première coupe la figure ou d'un trapeze ou d'un simple triangle , selon que le poids des parties supérieures du Navire , obligerait de donner plus de plat à la varangue , ou permettroit de le supprimer entièrement. Il faudroit dans ce dernier cas que les ports & les autres endroits fréquentés par la Frégate ou plutôt par la corvette , n'assechassent jamais.

Fig. 61.

* Voyez
le Chap. 2.
art. 1.

Fig. 61. La premiere coupe de la carène se trouvant alors réduite à la moindre étendue , la prouë trouveroit une moindre quantité d'eau dans son chemin , & le sillage en deviendroit plus rapide. La Corvette auroit encore un autre avantage ; elle dériveroit beaucoup moins. Car on doit se souvenir que lorsqu'on fait diminuer la résistance que souffre la prouë selon son axe , on fait augmenter au moins relativement la résistance dans le sens latéral * ; & il résulte toujours de cette augmentation une moindre déviation ou dérive dans les routes obliques.

* Voyez
la fin du
Chap. 8. de
la 1re. Sect.
de ce 3e.
Livre.

III.

Enfin , s'il s'agit d'un Vaisseau de guerre qui doit être considérablement chargé par en haut par le poids de ses ponts & de son artillerie , on peut le considerer comme tenant une espee de milieu entre les Frégates legeres & les Bâtimens de charge ; & si sa carène ne doit pas être exactement circulaire , & avoir encore moins des triangles pour ses coupes , elle ne doit pas non plus être plate par dessous comme dans les Bâtimens de charge. A l'aide de quelques supositions & des regles précédentes , il sera toujours facile de reconnoître la figure à laquelle il faudra s'arrêter , si on veut que le Navire ait toujours la propriété de singler avec la plus grande vitesse possible ; c'est ce que nous allons éclaircir par un exemple.

Suposons qu'en donnant la figure AOPPOB à la carène dans laquelle les points O , d'où on peut tirer commodément les tangentes ou les droites Op , Op , pour élargir la carène par en bas , sont élevés de 6 pieds de hauteur verticale au-dessus de l'horizontale PP , le centre de gravité commun G du Vaisseau & de son lest se trouve $3\frac{1}{2}$ pieds au-dessous du métacentre , & que le lest ait 9 pieds de hauteur , il sera facile de reconnoître qu'on a rencontré la figure convenable , & qu'il ne faut augmenter ni diminuer le plat PP qu'on a donné à la maîtresse varangue. Car le centre de gravité H des deux triangle POp qu'on pourroit ajouter ou retrancher étant au tiers de leur hau-

teur, sera élevé de 2 pieds, & sera par conséquent 7 Fig. 61.
pieds au-dessous de la surface MM du lest. Or $\frac{1}{2}$ HK étant
égal à Gg, il y auroit même rapport de $e \times \frac{1}{2}$ HK à $E \times Gg$
que de e à E : ainsi supposé qu'on augmentât ou qu'on di-
minuât l'étendue E de la coupe APPB, de la petite quan-
tité e , on ne pourroit augmenter ou diminuer l'étendue
de la voile que dans le même rapport; & il n'y auroit donc
rien à gagner n'y à perdre du côté de la vitesse. Or c'est ce
qui caractérise, comme le sçavent tous les Géomètres, le
maximum ou la disposition la plus parfaite. Mais si la sur-
face MM du lest, au lieu d'être élevée de 9 pieds, l'est de
10, alors $\frac{1}{2}$ HK sera plus grande que Gg, & le produit E
 $\times \frac{1}{2}$ HK étant plus grand par rapport à $E \times Gg$, que e par ra-
port à E , il y aura de l'avantage à élargir la carène un peu
plus par en bas, & même à élever, si on le peut, les points
O d'où partent les tangentes Op: car on pourra augmen-
ter l'étendue de la voile dans un plus grand rapport, qu'on
n'aura augmenté l'étendue E de la coupe de la carène.
*Enfin tout consiste à sçavoir si $\frac{1}{2}$ HK est égale ou plus petite, ou
plus grande que Gg. Si ces deux quantités sont égales, on a ren-
contre la figure APPB la plus convenable. Si $\frac{1}{2}$ HK est plus
grande que Gg, il faut élargir encore la carène par en bas;
& si $\frac{1}{2}$ HK est moindre que Gg, il faudra faire tout le contraire.*

I V.

Mais si on veut en prenant les choses de plus loin, se
décider d'une manière encore plus sûre & qui soit applicable
aux Frégates comme aux Vaisseaux de guerre, il n'y a
qu'à avoir recours à la solution générale que nous avons
donnée par voye d'approximation dans le premier article
du Chapitre précédent. On n'aura qu'à calculer *l'exposant*
ou *l'argument* de la vitesse du sillage pour trois différentes
suppositions ou hypothèses de plat PP de la varangue; &
pour n'être pas obligé d'y revenir, il n'y aura qu'à former
les deux flancs AP, BP par deux lignes droites qui parti-
ront des points A & B de la flotaïson même. On cherchera
d'abord pour la première hypothèse, la résistance que doit

Fig. 61. éprouver la prouë, de même que l'étendue des voiles que peut porter le Navire; & on divisera cette seconde grandeur par la première. On fera la même chose, en supposant que PP est successivement plus grand d'une certaine quantité (e) & d'une quantité double ($2e$); & les trois exposans a , b & c étant trouvés de cette sorte, la formule $z = \frac{3a - 4b + c}{2a - 4b + 2c} \times e$ marquera la quantité z dont le plat PP de la varangue, qu'on avoit supposé en premier lieu, doit être augmenté ou diminué, pour que le Vaisseau singe le plus vite qu'il est possible. Il n'importe que z soit positive ou négative, il n'y aura qu'à se conformer exactement à la formule, il est certain que le Navire marchera avec plus de rapidité. Mais on verra par une remarque que nous ferons dans la suite, qu'il pourra arriver, lorsque z sera positive, que la dérive ne diminuë pas, quoique la vitesse du sillage devienne plus grande.

Il ne nous reste plus qu'à montrer que la figure la plus avantageuse qu'on peut donner à la première coupe de la carène est celle d'un trapeze ou d'un triangle rectiligne; aussi-tôt qu'on ne veut pas se permettre de courber ses flancs en dedans. Pour prouver qu'on ne doit pas approuver les figures qu'on employe actuellement dans la Marine ni aucune autre qui en approche, nous n'avons qu'à jeter les yeux sur la figure 54 dans laquelle la ligne AB marque la flotation ou la ligne d'eau, & OO la surface supérieure du lest qui occupe toute l'étendue OTEVO. Je dis donc que sans nous arrêter à chercher quelque autre ligne courbe pour en former le contour AOEOB, nous n'avons qu'à tirer tout d'un coup les droites AP & BP, en rendant les espaces TPE & VPE de même grandeur ou un peu plus grands que les espaces ORT & OSV; & qu'il est certain que le trapeze rectiligne APPB sera plus avantageux que l'autre figure AOEOB. Premièrement, le Navire aura plus de stabilité & pourra soutenir mieux la voile: car en faisant passer le lest qui occupoit les espaces ORT, OSV dans les deux autres espaces TPE, VPE, le centre de gravité du tout

Fig. 61.
 tout sera plus bas , & par conséquent la charge même un peu diminuée , aura plus de moment par rapport au métacentre. En second lieu , le trapeze APPB aura ordinairement un peu moins d'étendue que n'en avoit l'autre figure , ce qui fera diminuer le volume d'eau que le Navire choque pendant sa marche ; mais quand même cette étendue ne seroit pas moindre , le trapeze sera cependant toujours plus propre à servir de base à un conoïde qui souffrira moins de résistance de la part de l'eau , comme on le verra dans la Section suivante. Ainsi on gagne de toutes manières à substituer la figure rectiligne à la curviligne. Cette figure sera un rectangle dans les Bâtimens de charge ; elle deviendra un trapeze moins large par en bas dans les Vaisseaux de guerre , de même que dans les Frégates ; & enfin la largeur par en bas se réduisant quelquefois à rien , le trapeze se changera en un simple triangle dans les Corvettes.

CHAPITRE VIII.

De la grosseur qu'il faut donner aux Vaisseaux par rapport à leur longueur pour qu'ils portent mieux la Voile ; avec le moyen d'augmenter extraordinairement la rapidité de leur sillage.

Nous n'avons examiné jusqu'à présent que la forme de la coupe verticale du Navire faite perpendiculairement à sa longueur : mais sçavons-nous quelle grandeur on doit donner à cette coupe , ou ce qui revient au même , sçavons-nous quelle largeur on doit donner au Vaisseau ? Cette largeur étant déterminée , la grandeur de la coupe le sera aussi ; puisque nous venons d'assujettir sa figure à sa largeur. Ainsi il ne s'agit pas ici de changer seulement la largeur ou seulement la profondeur ; mais de changer ces

Bbb b

deux dimensions en même tems, ou le raport qu'elles ont avec la longueur de la carène.

I.

* Art. 3.
Chap. 3.
Sect. 2.

Plus on augmente l'étendue de la coupe, plus le Navire, dont nous supposons que la longueur reste la même, a de capacité, plus il a de pesanteur, plus cette pesanteur est appliquée au-dessous du métacentre; & plus par conséquent elle a de force relative ou de moment pour soutenir l'effort du vent, & on peut donc donner plus d'étendue aux voiles. Nous avons montré en effet dans le premier Livre *, que lors qu'on augmente la largeur & la profondeur du Navire proportionnellement, sans toucher à sa longueur, on peut sans risque augmenter la largeur & la hauteur des voiles dans le même raport. Si, par exemple, on a doublé la largeur du Vaisseau & son creux, l'étendue de chaque de ses coupes fera quatre fois plus grande, le Navire aura quatre fois plus de pesanteur; & comme son centre de gravité fera deux fois plus bas, par raport au métacentre, la stabilité ou la force pour soutenir la voile fera comme le cube de la largeur, ou huit fois plus grande. Si on double aussi la largeur & la hauteur des voiles, leur surface fera quatre fois plus étendue, & le centre d'effort étant en même tems 2 fois plus haut, le moment ou la force relative avec laquelle le vent travaillera à faire verser le Navire, sera également huit fois plus grande, & ne fera donc toujours que maintenir l'équilibre avec l'autre force.

II.

Mais il n'est pas question de sçavoir si le Navire qu'on rend plus large peut, absolument parlant, porter plus de voiles; on demande, si la quantité qu'il en peut soutenir devient plus grande par raport à la résistance de l'eau qui s'oppose à la rapidité du sillage & qui se trouve aussi accrue. Si la proue avoit une figure parfaitement semblable dans les deux cas, ou si lors que la première coupe est plus éten-

duë, la prouë avoit en même tems plus de longueur ou plus de saillie, la résistance de l'eau n'augmenteroit que selon l'étendue de la première coupe; & il y auroit dès lors une parfaite compensation; pourvu qu'on n'augmentât pas davantage les dimensions de la mâture. Car l'obstacle que met l'eau au mouvement du sillage, augmentant autant que l'effort du vent qui tend à l'accélérer, la vitesse de la marche resteroit exactement la même. Mais aussi-tôt que la longueur du Navire ne change pas pendant qu'on le rend plus gros, la prouë est non-seulement un conoïde qui a une plus grande base, elle est aussi plus obtuse, & par ce dernier chef elle doit éprouver plus de résistance à proportion. Il suit de là qu'il n'y a point d'avantage à acquérir pour la promptitude du sillage, comme cela pouvoit paroître d'abord, lorsqu'on élargit le Vaisseau; & que c'est tout le contraire. Car pour revenir à la supposition particulière que nous avons faite; en augmentant la largeur & la profondeur de la carène deux fois, on ne peut donner que quatre fois plus d'étendue aux voiles: au lieu que la résistance de l'eau contre la prouë augmente en même tems beaucoup plus de quatre fois; elle devient peut-être plus de cinq à six fois plus grande, parce qu'outre que l'eau rencontre une surface quatre fois plus grande, elle en rencontre toutes les parties plus directement. Qu'on retrecisse au contraire le Vaisseau & qu'on diminue sa profondeur, il singlera ensuite beaucoup plus vite: car on fera toujours diminuer la résistance de l'eau dans un plus grand rapport qu'on ne fera obligé de diminuer l'étendue des voiles.

Pour voir jusqu'où peut aller la différence, proposons-nous un Navire composé de deux cones joints par leur base comme dans la figure 92: l'un de ces cones DAFE for- Fig. 92.
mant la prouë, & l'autre DBEF la poupe. Supposons outre cela que l'axe HA de la prouë soit de huit parties, pendant que sa largeur ou le diamètre DF de la coupe DEF soit aussi de huit. Si on retrecit ce Navire quatre fois plus, ou de maniere que sa largeur ne soit plus que de deux par-

B b b b ij

Fig. 92.

ties, il faudra ensuite donner quatre fois moins de largeur & quatre fois moins de hauteur aux voiles, & elles auront donc seize fois moins de surface. Mais outre que l'étendue de la coupe DEF sera aussi seize fois plus petite, & que la prouë seize fois moins grosse rencontrera seize fois moins d'eau, elle la rencontrera plus obliquement à raison de sa figure plus aiguë, ce qui fera encore diminuer l'impulsion treize fois. Tout compté, la résistance sera 208 fois moindre, comme on peut le voir par les méthodes que nous avons données, pour mesurer l'effort des fluides contre les surfaces courbes. Ainsi si on perd extrêmement du côté de l'impulsion du vent, cette perte sera réparée, & le sera avec excès, du côté de la résistance de l'eau, qui deviendra encore beaucoup plus petite, & qui s'oposera beaucoup moins au sillage.

La grande conséquence de la chose nous oblige à le répéter encore ; des deux diminutions que reçoit la résistance que trouve le Navire à fendre l'eau, il ne faut pas compter la première, celle qui vient de ce que la carène moins grosse rencontre une moindre quantité d'eau : il ne faut pas compter cette première ; puisque d'un autre côté la grandeur des voiles doit être diminuée sensiblement dans le même rapport. Mais il reste donc toujours l'autre diminution toute entière qui doit permettre au sillage de devenir plus rapide, celle qui vient de ce que toutes les parties de la prouë en rencontrant avec plus d'obliquité les molécules d'eau qui sont sur leur chemin, en sont frappées avec moins de force, & de ce que c'est encore une moindre partie de cette impulsion qui s'exerce dans le sens de la route. Nous pouvons par conséquent donner cette règle pour générale, que *lorsqu'on n'a en vûe que les seuls avantages de la marche, on ne sçauroit porter trop loin la diminution de la grosseur de la carène, pendant qu'on ne touche point à sa longueur.* Pour obtenir enfin un Navire absolument parfait ; il faudroit pouvoir le rendre infiniment étroit ; ce qui obligeroit de lui donner une infinité de mâts & de voiles, selon la règle établie à la fin du premier Chapitre de la Section précédente.

III.

Un pareil Navire ne trouvant qu'une résistance infiniment petite à fendre l'eau , ne seroit sujet à aucune dérive dans les routes obliques , comme l'ont déjà remarqué Messieurs Huguens & Bernoulli. Mais en joignant les nouvelles considérations que nous faisons entrer dans cette matiere , il est certain que quelque peu étenduës que soient les voiles dans ce cas , leur surface sera comme infinie par raport à la surface de la prouë ; c'est-à-dire , par raport à la surface plane qu'on peut considerer à la place de la prouë , eu égard à la quantité de l'impulsion qu'elle reçoit. Or il suit de là , que le Navire infiniment étroit , seroit précisément dans le même cas que celui dont nous parlions vers la fin du Chapitre V. de la seconde Section. Il n'importe en effet que les voiles soient infiniment grandes , comme nous le suposons , ou que ce soit la prouë qui soit infiniment aiguë ; le raport d'une impulsion à l'autre étant également infini , le Navire doit dans la route directe prendre toute la vitesse du vent , & en prendre encore une plus grande dans les routes obliques. Rien de sa part ne peut alors retarder ou plutôt limiter son mouvement ; puisque si l'inertie l'empêche de le recevoir tout à coup , elle ne l'empêche pas de le recevoir peu à peu ; & que nous ne le considerons ici , que lorsqu'il est déjà parvenu à sa plus grande vitesse ou à celle qui est uniforme. Mais cet avantage si extraordinaire d'aller plus vite que le vent , qui est également propre aux Navires dont les voiles sont infiniment grandes & aux Navires qui sont infiniment étroits , ne doit pas se perdre tout à coup , lorsqu'on passe du Métaphysique au Physique ou lorsqu'on commence à donner quelques degrés de grosseur à la carène. Les premiers degrés qu'on ajoute à cette dimension , ne peuvent causer que quelques degrés de diminution dans la qualité dont il s'agit , vû la gradation qui s'observe dans la Nature ou dans l'ordre primordial des choses.

C'est-à-dire , que la moindre largeur qu'on donnera au Navire , ralentira , il est vrai , sa marche ; mais qu'elle ne lui fera cependant perdre qu'une partie de l'excès de sa vitesse sur celle du vent , & qu'elle lui permettra d'aller toujours un peu plus vite. Il suffira pour cela que l'étendue des voiles soit toujours très-grande , par rapport au plan auquel se réduit la prouë renduë très-aiguë.

Il ne sera pas difficile , aussi-tôt qu'on emploiera les différentes méthodes que nous avons données dans ce troisième Livre , tant pour assigner à la mâture ses dimensions ; que pour déterminer le rapport des impulsions du vent & de l'eau , de découvrir quel est le retrecissement précis de la carène , qui fait que le Navire commence à jouir de cette propriété. Nous laissons au Lecteur à s'assurer qu'une Frégate qui seroit 18 ou 19 fois plus longue que large , se trouveroit déjà dans ce cas ; & que s'il étoit permis de la retrecir encore deux fois plus , il suffiroit d'orienter ses voiles de maniere qu'elles fissent avec la quille un angle d'environ $19\frac{1}{2}$ degrés , ou un angle dont le sinus fût le tiers du sinus total , pendant qu'elles seroient frappées perpendiculairement , pour que la Frégate singlât avec une vitesse , non pas simplement égale à celle du vent , mais qui la surpassât d'un tiers ou d'un quart. Enfin l'utilité pour la pratique , qu'on ne manquera pas de retirer de toutes les remarques précédentes , c'est qu'il ne sera plus permis de douter que ce ne soit dans le sens que nous le prétendons , qu'il faut travailler toujours à changer les dimensions de la carène ; malgré l'usage constant de toutes les Nations qui fréquentent la Mer , & ce qu'on a pensé jusqu'à présent sur cette matiere.

IV.

Si on se trouve arrêté par différentes considérations , lorsqu'il s'agit des Bâtimens de transport , ou lorsqu'il s'agit des Vaisseaux de guerre qui demandent à avoir une certaine largeur , non-seulement pour le service de l'artillerie , mais aussi parce que leur centre de gravité est fort haut

& trop voisin du métacentre , on satisfera également au précepte , en allongeant ces Navires. Il faudra seulement se souvenir que pour ne pas rendre cet allongement infructueux , la prouë ne doit pas moins y participer que les autres parties. Il est vrai qu'à l'égard des plus grands Vaisseaux on ne pourra pas , faute de matériaux assez forts , les allonger beaucoup ; mais aussi-tôt qu'on ne sera gêné par aucun obstacle particulier , il n'y aura toujours qu'à diminuer assez la largeur ou augmenter assez la longueur , pour que l'une ne soit que la sixième ou la septième partie de l'autre. Les Navires en singleront non-seulement plus vite ; ils dériveront encore beaucoup moins dans les routes obliques , & *pinceront* donc mieux le vent. Il en résultera plusieurs autres utilités sur lesquelles nous n'insisterons pas : la mâture étant beaucoup moins haute à proportion , & les voiles beaucoup moins larges , elles ne fatigueront plus le Navire ; elles seront incomparablement plus légères ; & n'étant exposées qu'à une impulsion beaucoup plus petite , elles cesseront d'être sujettes aux accidens & il ne faudra toujours que peu de gens pour la manoeuvre. Il faut remarquer enfin que ce n'est qu'en observant cette maxime importante , mais en insistant aussi sur toutes les autres qui ont la rapidité du sillage pour objet , qu'on réussira à rendre dans les Frégates la vitesse de la marche égale à la moitié de celle du vent ; au lieu qu'elle n'en est actuellement que le tiers. On a vû dans la seconde Section * * Chap. 5. art. 4. qu'il ne faut guère s'attendre de pouvoir faire accélérer le sillage , par l'augmentation des voiles ; il faudroit les étendre extrêmement , & elles ne le font déjà souvent que trop. Mais lorsqu'on substituera au contraire à la prouë trop renflée & trop courte , qu'ont actuellement les Vaisseaux , une figure plus aiguë & plus propre à fendre l'eau , on en tirera déjà un avantage considérable. La résistance qu'éprouvera ensuite le Navire se trouvera plus de trois fois moindre ** : & avec cela on diminuë encore la grosseur de la carène , ou qu'on augmente sa longueur , on atteindra par ces deux changemens , principalement par le der-

** Voyez le Chap. 11. de la 1^e. Sec. art. 1^{er}.

nier , à un degré de perfection auquel il n'eût jamais été possible d'atteindre , par la seule augmentation de l'impulsion du vent. C'est cependant à l'expérience à montrer si on ne peut pas gagner encore quelque chose par ce second côté , en donnant quatre mâts verticaux aux Navires qui sont fort étroits ou fort longs , ainsi que nous l'avons proposé.

V.

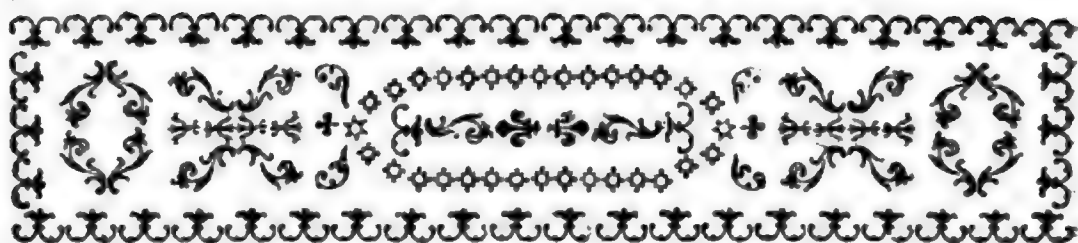
On ne doit pas au reste nous objecter que les Pirogues ou ces especes de Canots faits d'un seul tronc d'arbre , qui sont en usage dans la Zone Torride , portent mal la voile & ont d'autres défauts considérables. Car tous les inconveniens auxquels ils sont sujets , ne viennent qu'indirectement de ce qu'ils sont trop étroits. Ils naissent de ce que la charge ne peut pas être distribuée de la même manière que dans les Vaisseaux. Le poids d'un seul homme est considérable par rapport à celui de ces Pirogues , qui sont 8 ou 9 fois , & quelquefois 14 ou 15 fois plus longues que larges ; & le centre de gravité du tout est ordinairement trop haut. Du tems du P. Fournier , la Frégate *la Levrette* qui devoit avoir plus de 108 ou 110 pieds de longueur , n'en avoit que 18 de largeur ; & elle marchoit d'une manière extraordinaire *. C'est comme une expérience anticipée de la bonté de nos assertions. On en trouveroit encore quelques autres s'il le falloit : & il est évident que de pareils exemples sont parfaitement concluans en notre faveur ; pendant que cent autres qui paroissent contraires , ne prouvent absolument rien. Il suffit qu'un Navire , entre mille , ait bien réussi , quoi qu'il fût très-étroit ; il suffit même qu'il ait bien réussi dans une seule campagne , pour que cet exemple démontre d'une manière incontestable , & indépendamment de toutes les raisons précédentes qui établissent la même vérité , qu'il faut attribuer à quelque autre cause le défaut ordinaire de succès des autres Navires construits à peu près sur le même modèle. Comme on a consenti trop volontiers à se priver de toutes les lumières que

fournit

* Voyez
l'Hydrogr.
de cet Au-
teur , liv.
1. chap. 4.

fournit la théorie, on n'a opéré qu'au hazard, aussi-tôt qu'on a voulu s'éloigner des pratiques communément reçues : on s'est trouvé dans l'impossibilité de distinguer les cas où il falloit augmenter ou diminuer quelque une des dimensions du Vaisseau, & on n'a pas soupçonné non plus qu'un premier changement entraînoit toujours plusieurs autres ; ce qui a empêché de profiter quelquefois d'un avantage qui n'eût rien couté, ou ce qui a fait tomber dans des fautes dont les suites étoient encore plus fâcheuses.





CINQUIÈME SECTION.

Du Navire considéré par rapport à la rapidité de son sillage , & à la propriété qu'il doit avoir de dériver peu dans les routes obliques.

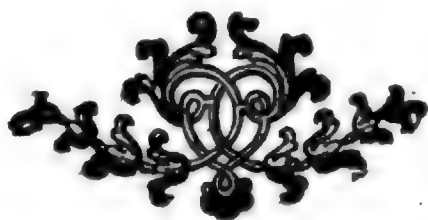
LE Lecteur qui s'est rendu propres toutes les recherches précédentes , est non-seulement en état de se décider désormais avec pleine connoissance de cause sur le choix de tous les divers plans de Vaisseaux qu'on proposera , & d'en tirer tout le parti possible , il peut aussi procurer aux Navires la plûpart des propriétés que nous avons déjà examinées. Mais il nous reste cependant encore à indiquer , d'une manière plus particulière , les moyens de conférer plus de promptitude au sillage par la figure qu'on peut donner à la carène , & de faire en sorte que la dérive soit la moindre qu'il est possible dans les routes obliques. Nous n'avons réussi à cet égard qu'à régler les principales dimensions du Navire : il s'agit maintenant , en suposant ces dimensions données , de découvrir la courbure précise que doivent avoir les flancs & toute la surface extérieure de la carène dans le sens de leur longueur.

Il paroît assez par diverses remarques qui se sont offertes à nous , qu'il est très-douteux que la figure qui fend l'eau avec le plus de facilité , soit absolument la plus avantageuse pour rendre le sillage rapide : car il est possible qu'une prouë qui éprouve un peu plus de résistance , rende le Navire capable de soutenir à proportion une plus gran-

de quantité de voiles. Il peut donc arriver que ce soit encore ici une de ces circonstances fâcheuses où nous nous sommes déjà trouvés plus d'une fois, dans lesquelles ne pouvant pas parvenir à concilier à la Navigation tous les avantages que nous avons en vûe, il a fallu sacrifier aux uns une partie des autres. Cependant les deux différentes figures de prouës qu'on peut distinguer, en nommant l'une *de la moindre résistance*, & l'autre *de la plus grande vitesse*, doivent avoir beaucoup d'affinité entr'elles; & dans plusieurs cas l'une doit acquérir sensiblement toutes les propriétés de l'autre. C'est d'ailleurs la figure qui éprouve la moindre résistance qu'il est évident qu'on doit donner à tous les Navires qui ne sont pas de charge & qui sont principalement destinés à aller à rames, & c'est encore cette figure, comme nous l'avons prouvé *, qui fait à l'égard de chaque genre, que la déviation dans les routes obliques est la moindre qu'il est possible. Nous devons naturellement commencer nos Recherches par sa détermination; puisqu'elle est la plus simple. Nous ne paroîtrons occupés que de l'unique soin, de diminuer l'impulsion ou la résistance dans la route directe: mais on se souvient qu'il suffit de donner à une figure la propriété dont il s'agit dans cette seule route, pour que la même propriété subsiste dans toutes les autres. Nous l'avons vû dans la première Section de ce troisième Livre **.

* A la fin
du chap. 8.
de la 1re.
Section de
ce 3e. liv.

** Voy. la
fin du ch. 7.



C H A P I T R E P R E M I E R.

Examen des figures les plus simples qui reçoivent le moins d'impulsion qu'il est possible de la part des milieux dans lesquels elles se meuvent.

I.

Fig. 101. **I**MAGINONS-nous une ligne droite Bb (Fig. 101.) exposée au choc d'un fluide qui la rencontre perpendiculairement, ou qui suit une infinité de lignes parallèles à CA , & à DB ; & proposons-nous, en la garantissant du choc du fluide par deux lignes obliques égales BE , be , & par une troisième Ee parallèle à Bb , & placée au-devant à une distance donnée CA , de faire en sorte que l'impulsion directe ou dans la détermination parallèle à l'axe CA , sur l'assemblage des trois droites BE , Ee , be , soit la moindre qu'il soit possible. C'est-à-dire, qu'il s'agit d'augmenter ou de diminuer la longueur de la portion Ee , & de rendre BE & be plus ou moins obliques; jusqu'à ce que l'impulsion sur ces trois lignes jointes ensemble, soit un *minimum*.

La figure étant égale des deux côtés de l'axe CA , il suffit d'examiner une de ses moitiés. La ligne DB parallèle à CA , peut représenter la direction du fluide, & si du point D , qui est sur le prolongement de Ee , on abaisse la perpendiculaire DF sur BE , cette perpendiculaire sera le sinus de l'angle d'incidence DBE du fluide sur BE . Il n'y a ensuite qu'à abaisser du point F la perpendiculaire FG sur DB , & la partie interceptée DG représentera le carré du sinus d'incidence, pendant que DB , pris pour l'unité, représentera aussi-bien le carré du sinus total que le sinus total même: car nous avons la proportion continuë $|| DB | DF | DG$, qui nous fournit cette autre $\overline{DB}^2 | \overline{DF}^2 || DB | DG$. Ceci est vrai, quelque situation qu'on donne à BE ; & il

est évident que l'angle DFB étant toujours droit, tous les points F sont sur une demi-circonférence de cercle DFB qui a DB pour diamètre. Maintenant pour avoir l'impulsion relative directe sur BE, il ne faut pas multiplier le carré DG du sinus d'incidence par BE, ce qui nous donneroit l'impulsion absolue selon la perpendiculaire à ce côté : il faut multiplier seulement DG par DE. Mais si on tire FH parallèlement à DB, nous pouvons prendre à la place du produit de DG par DE, celui de DB par HE qui lui est égal, puisque $DB \perp DE \parallel HF = DG \perp HE$. Ainsi nous pouvons exprimer l'impulsion relative directe sur BE par le rectangle de DB & de HE ; & il ne nous reste donc qu'à joindre à cette impulsion celle que reçoit CE, pour avoir l'impulsion entière dans le sens direct que souffre la figure BEC moitié de la proue.

Fig. 101.
& 102.

La partie EC étant frappée perpendiculairement de même que l'étoit AB, il faut pour avoir l'impulsion à laquelle elle est exposée, la multiplier par le carré du sinus total qui est exprimé par DB. Il suit de là que l'impulsion sur l'assemblage des deux droites BE & BC, est égale à la somme du rectangle de DB par HE, & de DB par EC, ou qu'elle est égale au rectangle de DB par toute HC ; & elle est donc proportionnelle à HC ou à la distance FI du point F à la droite CA. Ainsi pour donner à l'assemblage des deux lignes droites BE & EC ; la disposition qui rend l'impulsion directe un *minimum* ; il ne s'agit que de rendre FI la plus petite qu'il est possible. Or il faut pour cela diminuer CE jusqu'à la rendre nulle, ou jusqu'à ce que la ligne BE vienne se rendre en C, comme dans la figure 101 ; ou au moins jusqu'à ce que BE parvenue à la situation BM, comme dans la figure 102, fasse un angle demi-droit avec BA & avec la direction du fluide, & que l'impulsion qui étoit exprimée par FI, le soit par KL. Il ne faut pas que BM fasse un angle moindre que le demi-droit avec BA ; car KL qui exprime l'impulsion devient ensuite plus grande.

Il résulte de tout cela que les lignes droites BC & bC

Fig. 101.
& 102.

(Fig. 101.) reçoivent la moindre impulsion directe, aussitôt qu'elles ne font pas un angle de plus de 45 degrés avec la direction du fluide. Mais que dans le cas où il faudroit qu'elles fissent un angle plus grand, il ne faut toujours les incliner précisément que de 45 degrés, comme le font *BM* & *bm* dans la figure 102; & qu'il faut joindre ensuite les points *M* & *m* par la droite *Mm*. Il est certain encore qu'on ne peut pas substituer à l'assemblage de ces lignes droites une ligne courbe *BQC* (Fig. 103.) qui reçoive moins d'impulsion dans le sens de son axe. Car si on partage cette courbe en une infinité de petites parties *PQ*, *QR*, &c. chaque de ces petites lignes, comme *PQ*, sera droite, & ne recevra pas la moindre impulsion directe: ce sera l'assemblage des deux petites lignes *PT* & *TQ* qu'on y appliquera, dont l'une fera un angle demi-droit avec la direction du fluide, & l'autre un angle droit. C'est ce qui paroît évidemment; puisque tout ce qui est vrai pour des lignes finies, le doit être également pour des lignes infiniment petites. Ainsi, au lieu de la courbe *BPRC*, ce sera la figure *BOPTQVR*, &c. qui sera sujette à la moindre impulsion. Mais il est facile de remarquer que cette figure à échellons formée d'une infinité de côtés, est équivalente à l'assemblage des deux seules lignes droites *BM* & *MC*. Car toutes les petites lignes *BO*, *PT*, *QV*, &c. sont égales jointes ensemble à *BM* & sont exposées au choc du fluide de la même manière; pendant que toutes les petites lignes *OP*, *TQ*, *VR*, &c. sont ensemble équivalentes à *MC*.

Il ne sera pas beaucoup plus difficile de s'assurer que l'impulsion deviendroit aussi plus grande, si on changeoit les lignes droites des côtés en lignes courbes, lorsque ces deux droites se rencontrent & qu'elles font un angle moindre de 45 degrés avec l'axe. On s'en convaincra, si on le veut, par des reflexions semblables à celles que nous ferons dans l'article II. du Chapitre VII.

II.

Fig. 101.
& 102.

On peut déjà tirer des recherches précédentes quelque utilité par rapport à la construction de divers Bâtimens, comme des Gabares, des Pontons, &c. qui ne sont destinés qu'à naviger sur les Rivières ou dans les endroits fermés. L'avant des Pontons est ordinairement terminé par deux plans verticaux qui font un angle BCb , & dont la rencontre forme l'extrémité C de la prouë; mais nous voyons que ces deux plans (& ce doit être la même chose de ceux qui forment les éperons dont on couvre les piles des ponts,) ne sçauroient faire un angle trop aigu, & que si on étoit forcé de le faire obtus ou de retrancher de la trop grande saillie de l'angle aigu, il vaudroit mieux substituer, comme dans la figure 102, deux plans qui fissent entr'eux un angle droit, ou un angle demi-droit avec la direction du fluide, & retrancher ensuite la pointe de l'angle par un troisième plan Mm placé perpendiculairement. Les Chinois, auxquels la singularité de leur Architecture navale nous fait penser si souvent, pourroient observer la même chose dans la construction de leurs Vaisseaux, au lieu de former leur prouë par un seul plan vertical: ils rendroient la promptitude de leur navigation beaucoup plus grande. On construira enfin des Frégates ou des Corvettes d'une figure très-simple, en terminant leur carène par quatre plans verticaux, dont deux formeront la prouë & les deux autres la poupe, conformément à ce que nous étions dans la suite*.

III.

* Voy. le
chap. 7.
art. 6.

Sachant cette propriété qu'ont les lignes droites d'éprouver de la part des milieux la moindre résistance, on peut encore s'en servir avec avantage, en les faisant entrer dans la composition même des surfaces courbes. Imaginons-nous, par exemple, une surface $ABRS$ (Fig. 104.) formée de lignes droites dans le sens horizontal; mais cour-

Fig. 104.

Fig. 104.

be dans le sens vertical , & comprise entre deux plans verticaux BCDR & ACDS qui se rencontrent dans la verticale DC. C'est déjà beaucoup que de sçavoir que chaque des zones horizontales qui servent d'éléments à cette surface reçoit la moindre impulsion ; & pour rendre donc l'impulsion sur toute la surface un *minimum* , nous n'avons qu'à déterminer la seule courbe BMR. Si nous nommons x les parties variables DG , DK de la verticale DC qui sert d'axe , & dx les parties infiniment petites KP ou PG qui sont égales à HN ou ML , & y les ordonnées comme GE , KH , & dy leur différentielle NM ; nous aurons $\sqrt{dx^2 + dy^2}$ pour l'élément HM de la courbe BER : & si le fluide se meut parallèlement aux ordonnées HK ; nous aurons HMN pour l'angle d'incidence dont nous trouverons le sinus $\frac{ndx}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$ par l'analogie suivante , après avoir pris n pour désigner le sinus total : $HM = \sqrt{dx^2 + dy^2}$ | $HN = dx$ || n | $\frac{ndx}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$. Le carré de ce sinus sera $\frac{n^2 dx^2}{dx^2 + dy^2}$, que nous multiplierons par l'étendue de la zone OH , si nous voulions avoir l'impulsion absolue ; au lieu que ne voulant avoir que l'impulsion relative directe , nous ne devons , comme on le sçait , multiplier le carré du sinus d'incidence que par l'étendue de la zone OH projetée sur un plan vertical perpendiculaire à la direction du fluide. La longueur IH de la zone étant proportionnelle à l'ordonnée correspondante HK , peut s'exprimer par y , & si on la multiplie par $HN = dx$, on aura ydx pour le rectangle auquel se réduit la zone , lorsqu'on la projette. Nous avons donc $ydx \times \frac{n^2 dx^2}{dx^2 + dy^2}$ pour l'impulsion relative directe ; & cette expression doit convenir également à toutes les zones.

Nous pouvons maintenant considérer que plus on diminue $HN = dx$, en laissant $MN = dy$ constante , plus l'impulsion

pulsion $ydx \times \frac{n^2 dx^2}{dx^2 + dy^2}$ ou $\frac{n^2 y dx^3}{dx^2 + dy^2}$ diminuë ; car la zone Fig. 104.

IM prend la situation Im, & est moins exposée au choc du fluide & se trouve outre cela plus étroite. Si on prend la différentielle de $\frac{n^2 y dx^3}{dx^2 + dy^2}$, on apprendra que l'impulsion diminuë effectivement de la petite quantité

$$\frac{n^2 y dx^4 + 3n^2 y dy^2 dx^2}{dx^2 + dy^2} \times ddx.$$

Cependant ce n'est pas une raison pour diminuer continuellement HN ou dx , car l'impulsion que souffre la zone voisine FM, devient en même tems plus grande, parce que cette zone en prenant la situation Fm, se trouve ensuite plus large & plus exposée au choc du fluide. Il faut donc faire ensorte que la petite diminution que souffre une impulsion, ou sa différentielle

$$\frac{n^2 y dx^4 + 3n^2 y dy^2 dx^2}{dx^2 + dy^2} \times ddx$$

soit précisément égale à la différentielle ou à la petite augmentation que recevra l'impulsion sur l'autre zone : car les deux différentielles se détruisant deviendront jointes ensemble égales à zéro ; ce qui est nécessaire pour que les deux zones reçoivent conjointement la moindre impulsion possible. Mais ces mêmes différentielles seront encore égales si on les divise par n^2 , & par ddx qui désigne la même quantité Mm dans les deux expressions : & comme ce sera précisément la même chose dans tous les autres endroits de la courbe BR, il est

évident qu'on peut évaluer $\frac{y dx^4 + 3y dy^2 dx^2}{dx^2 + dy^2}$ à une quantité

constante a ; ce qui nous donne $y dx^4 + 3y dy^2 dx^2 = a dx^4 + 2a dx^2 dy^2 + a dy^4$ pour l'équation différentielle qui exprime la nature de la courbe.

Pour résoudre cette équation, je prens une nouvelle inconnuë z , en suposant $\frac{z dx}{a} = dy$. J'introduis cette valeur de dy dans l'équation ; ce qui la change en $y dx^4 + \frac{3y z^2 dx^3}{a^2} = a dx^4 + \frac{2z^2 dx^4}{a} + \frac{z^4 dx^4}{a^2}$ dont je tire $y =$

Dddd

Fig. 104. $\frac{a^4 + 2a^2z^2 + z^4}{a^3 + 3az^2}$. Après cela cette valeur de y me donne

$$dy = \frac{6az^5 dz + 4a^3 z^3 dz - 2a^5 z dz}{a^3 + 3az^2} \text{ \& je change } \frac{zdx}{a} = dy \text{ en}$$

$$\frac{zdx}{a} = \frac{6az^5 dz + 4a^3 z^3 dz - 2a^5 z dz}{a^3 + 3az^2} \text{ \& en } dx =$$

$$\frac{6a^2 z^4 dz + 4a^4 z^2 dz - 2a^5 dz}{a^3 + 3az^2} = \frac{2}{3} dz - \frac{\frac{2}{3} a^4 dz}{a^2 + 3z^2} = \frac{2}{3} dz - \frac{\frac{2}{3} a^2 dz}{a^2 + 3z^2}$$

$$- d \frac{\frac{2}{3} a^2 z}{a^2 + 3z^2}; \text{ \& en intégrant il vient } x = \frac{2}{3} z - \frac{\frac{2}{3} a^2 z}{a^2 + 3z^2}$$

$$- \frac{2}{3} \int \frac{\frac{2}{3} a^2 dz}{\frac{1}{3} a^2 + z^2}. \text{ Ainsi le Problème est entièrement résolu:}$$

nous n'avons pas la relation immédiate de y à x , quoi qu'on puisse la trouver assez aisément; mais nous avons celle de ces deux quantités à la troisième z , à laquelle nous n'avons qu'à attribuer autant de différentes valeurs que nous voudrons, & par le moyen des deux équations $y = \frac{a^4 + 2a^2z^2 + z^4}{a^3 + 3az^2}$ & $x = \frac{2}{3} z - \frac{\frac{2}{3} a^2 z}{a^2 + 3z^2} - \frac{2}{3} \int \frac{\frac{2}{3} a^2 dz}{\frac{1}{3} a^2 + z^2}$, nous aurons autant de valeurs correspondantes de y & de x ; ce qui nous mettra en état de tracer la courbe BER.

Je n'ai que faire d'avertir que le dernier terme $\frac{2}{3} \int \frac{\frac{2}{3} a^2 dz}{\frac{1}{3} a^2 + z^2}$ de la valeur de x dépend de la rectification du cercle: mais j'ay voulu épargner aux Lecteurs la peine du calcul & les mettre en état par la Table suivante de former aisément la courbe dont il s'agit: mon travail aura peut-être son utilité. Il est clair qu'en joignant deux surfaces ABRS, on peut former une proue qui sera à peu près telle que le représente la figure, & qui aura la propriété d'éprouver de la part de l'eau la moindre résistance possible dans la route directe & dans toutes les autres routes dont l'obliquité ne passera pas 45 degrés. Il n'importe que l'eau choque obliquement les zones horizontales dont les deux côtés de cette proue sont formés: cette obliquité rend plus petites les impulsions sur toutes les zones; mais elle n'en change point le rapport.* Au reste cette proue a cela de particulier, qu'elle souffre

* Voy. le
commenc.
de l'art. 2.
du chap. 6.
de la 1re.
Section.

toujours la moindre impulsion possible, sans qu'il importe Fig. 104. jusqu'à quel terme elle soit plongée dans le fluide. Ce n'est pas des courbes des arrêtes AIS & BHR dont nous donnons les abscisses & les ordonnées; c'est de celle qui résulte de la Section de la surface ABRs coupée verticalement & perpendiculairement à sa longueur; & le point D est l'origine des abscisses étendus le long de DC. Nous pouvons prendre également DC pour l'axe de la courbe SA; mais ses ordonnées seront plus longues que celles que marque la Table, dans le même rapport que AC est plus grande que perpendiculaire CL.

T A B L E

Des dimensions de la prouë angulaire & rectiligne dans le sens horisontal, laquelle éprouve la moindre résistance de la part de l'eau.

Hauteurs ou Profondeurs.	Demies largeurs ou Ordonnées.	Hauteurs ou Profondeurs.	Demies largeurs ou Ordonnées.	Hauteurs ou Profondeurs.	Demies largeurs ou Ordonnées.	Hauteurs ou Profondeurs.	Demies largeurs ou Ordonnées.
0	899	374	1300	778	2000	1164	2900
14	900	408	1350	826	2100	1200	3000
79	950	440	1400	873	2200	1236	3100
132	1000	471	1450	918	2300	1271	3200
180	1050	502	1500	962	2400	1306	3300
223	1100	561	1600	1004	2500	1341	3400
265	1150	619	1700	1046	2600	1376	3500
303	1200	674	1800	1086	2700	1410	3600
340	1250	728	1900	1125	2800	1444	3700

Le Problème recevra une plus grande généralité, si on l'examine dans le cas où les coupes horisontales de la prouë, au lieu d'être terminées par deux lignes droites, le sont par des lignes courbes parfaitement paralleles à la premiere BAb. Désignant par x les parties variables de l'axe DC & par y les ordonnées de la courbe de saillie AS; ces ordonnées serviront d'axe aux courbes horisontales qui séparent les zones les unes des autres: & si après

Dddd ij

580 TRAITÉ DU NAVIRE,
avoir cherché par la méthode expliquée dans le Chapitre
IV. de la première Section, l'impulsion que souffrent ces
lignes, on la nomme Y , on aura x =====

$\int \frac{ady}{\sqrt{\frac{1}{2}aY - a^2} + \sqrt{\frac{2}{3}a^2Y^2 - 2a^3Y}}$; ce que le Lecteur vérifiera
aisément.

CHAPITRE II.

*De la Prouë en conoïde, qui fend l'eau avec le plus
de facilité qu'il est possible.*

I.

LORSQU'ON rendra exactement circulaires les cou-
pes de la carène dans les Frégates & dans les Cor-
vettes, la prouë deviendra un conoïde parfait ou plutôt un
demi conoïde; & on sçait depuis long-tems la forme qu'il
faut donner à ce solide pour qu'il fende l'eau avec la plus
grande facilité. Si a désigne une grandeur constante &
 z une variable dont Lz indique les logarithmes pris dans
une logarithmique dont a est la soutangente, on aura
 $\frac{3z^4}{4a^3} + \frac{z^2}{a} - \frac{1}{12}a - Lz$ pour les abscisses ou parties de l'axe
du conoïde & $\frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{2}$ pour ses ordonnées. Nous
devons à M. Bernoulli la première solution complète de
ce Problème, de même que d'un si grand nombre d'au-
tres; quoique plusieurs autres Mathématiciens y aient
aussi travaillé avec succès, comme M. le Marquis de l'Hô-
pital, M^{re}. Fatio & Herman. Cette découverte se trou-
vant d'autant plus utile, qu'elle a réellement plus d'étendue
qu'on avoit cru lui en donner, puisqu'elle n'est pas limitée
au seul cas de la route directe, j'ai tâché de l'accomoder
aux besoins de la pratique, en calculant une Table des
dimensions de la figure qu'elle prescrit. Cette Table étant

LIVRE III. SECTION V. CHAP. II. 581
 inférée dans mon Traité de la Mâtüre, je la transporte
 ici pour la commodité des Lecteurs, après l'avoir consi-
 dérablement augmentée.

T A B L E

*Des dimensions de la Prouë conoïdale qui fend l'eau
 avec le plus de facilité.*

Abcisses ou parties de l'axe.	Demies largeurs ou Ordonnées	Impulsions.	Abcisses ou parties de l'axe.	Demies largeurs ou Ordonnées	Impulsions.	Abcisses ou parties de l'axe.	Demies largeurs ou Ordonnées	Impulsions.
0	308	148993	4518	2545	1949062	41862	12040	14543335
6	317	155239	5194	2791	2189549	45383	12765	15615915
20	336	167905	5943	3053	2453469	49118	13520	16837987
44	364	186165	6769	3333	2743083	53080	14304	18132351
78	400	208184	7678	3631	3059421	57280	15119	19505003
125	444	236721	8675	3948	3404528	61727	15966	20949435
185	496	268916	9767	4284	3780198	66423	16845	22478039
260	557	307900	10959	6440	4188257	71386	17755	24089705
354	626	353607	12258	5016	4630586	76624	18699	25790519
468	704	405964	13668	5413	5109155	82139	19676	27580596
604	792	466875	15198	5832	5626246	87935	20688	29463846
766	890	536439	16852	6273	6182762	94086	21736	31444132
956	999	615734	18639	6737	6792289	100524	22817	33524478
1178	1118	705619	20565	7225	7426420	107285	23936	35708216
1434	1250	807369	22636	7736	8117090	114387	25090	38001324
1729	1394	922068	24861	8272	8867188	121835	26279	40399311
2065	1550	1050881	27246	8833	9648764	129642	27507	42913773
2448	1720	1194679	29800	9421	10493903	137820	28777	45545900
2880	1904	1355015	32531	10034	11395391	146380	30085	48298823
3366	2102	1533275	35447	10675	12355760	155334	31431	51462561
3911	2316	1730807	38555	11343	13377500	164694	32818	54183109

L'usage de cette Table est trop facile, pour qu'il soit nécessaire de l'expliquer. On voit assez qu'il faut prendre sur une échelle de parties égales la valeur de chaque abcisse; & que la portant depuis A jusqu'en, X ou jusqu'en C sur une ligne droite AC (Fig. 105) en commençant toujours au point A, il n'y a qu'à élever à son extrémité

Fig. 105.

X ou C une perpendiculaire XV ou CD égale à l'ordonnée correspondante marquée dans la Table, pour avoir un point V ou D de la courbe BVD. On pourra trouver de la même manière autant de différens points qu'on voudra : & la courbe étant tracée, il n'y aura qu'à la faire tourner autour de son axe AC, pour former le conoïde qui éprouve de la part des fluides la moindre impulsion possible. Ce conoïde ne sera pas fermé par sa pointe, parce que la première ordonnée AB, au lieu d'être nulle, est ici de 308 parties : mais on peut couvrir cette ouverture par un petit cone formé par les tangentes à la courbe. La prouë étant parfaitement conoïdale, tous les gabaris de la partie antérieure de la carène, seront des demi-cercles ; ce qui ne donnera que plus de facilité à les former. Les Constructeurs ont toujours eu quelque répugnance à se servir de cette figure dans leurs gabaris. Voyant que pendant le roulis, les Navires trop ronds, font leurs balancemens, sans choquer l'eau d'un côté & d'autre, ils ont cru que ces balancemens en devoient être beaucoup plus vifs : mais quelque figure qu'ait la carène, il est certain qu'elle ne déplace jamais beaucoup d'eau par ses oscillations, & qu'outre cela elle ne la frappe qu'avec une obliquité qui doit rendre le choc comme insensible. De plus, nous avons montré que la promptitude du roulis vient de causes très-différentes.

Nous avons ajouté dans la Table les impulsions que souffre le demi conoïde, selon qu'on le rend plus ou moins long. Ces impulsions ont été fournies par la for-

mule $\frac{2q}{r} \times \frac{z^4}{4a^2} + \frac{1}{2}z^2 + \frac{21}{101}a^2 + \frac{a^4}{2z^2} + aLz$, dont on peut

* Pag. 53
& suiv.

voir l'origine dans le Traité de la Mâture*. Les lettres q & r marquent le rapport du quart de la circonférence d'un cercle à son rayon : mais nous avons pris l'unité pour sinus total ; & nous avons joint outre cela l'impulsion que doit recevoir le petit plan circulaire de l'extrémité, dont le rayon est égal à $\frac{16}{3\sqrt{3}}a$. Le sinus total étant désigné ici par l'unité,

l'impulsion que recevrait la base du conoïde, si elle étoit frappée perpendiculairement par le fluide, seroit représentée par son étendue même. Ainsi il n'y a qu'à chercher l'étendue de cette base par la connoissance qu'on a de l'ordonnée qui lui sert de rayon, & il suffira de lui comparer l'impulsion que souffre le conoïde, pour sçavoir combien la faillie ou la convexité de la figure fait diminuer le choc. La partie, par exemple, qui a 1434 pour axe & 1250 pour ordonnée, reçoit une impulsion qui est exprimée par 807369, pendant que l'étendue de la base ou du demi-cercle qui a 1250 pour rayon est à peu près de 2455357; ce qui montre que la convexité de cette partie du conoïde, rend l'impulsion à peu près trois fois moindre. On peut remarquer en passant que c'est donc cette même portion qui (conformément à un Theorème établi dans la première Section de ce troisième Livre*,) a la propriété singulière de recevoir toujours le même choc dans le sens de son axe, quelque soit l'obliquité de la direction du fluide qui la frappe.

* Art. VI:
du Chapitre
VII.

On peut juger aussi avec facilité de l'impulsion que souffrent les parties qui ne commencent pas à l'extrémité de l'axe. L'impulsion que reçoit, par exemple, la partie qui est comprise entre les ordonnées 400 & 3053 est la différence 2245285 des impulsions 208184, & 2453469; & cette impulsion partielle répond à la différence des bases qui ont 400 & 3053 pour rayons, différence qui est de 14395557. D'où il suit que la portion du conoïde dont il s'agit, fait par la disposition plus oblique de sa surface, diminuer l'impulsion relative directe dans le rapport de 14395557 à 2245285, ou qu'elle la fait diminuer presque $6\frac{2}{3}$ fois.

Nous ne descendons dans ce détail qu'afin de lever les difficultés qui pourroient se présenter, lorsqu'on voudra découvrir les impulsions que souffrent divers conoïdes irréguliers dont nous parlerons dans la suite. Quelquefois on ne formera leur faillie que par une portion VD (Fig. 105) de la courbe génératrice du conoïde régulier de

Fig. 105. *moindre résistance*: or il n'y aura qu'à chercher de la manière que nous venons de l'expliquer, dans quel raport la portion de la ligne qui sera actuellement employée, fait diminuer l'impulsion dans le conoïde regulier, & elle produira le même effet dans les autres. Nous nous proposerons vers la fin du second article du Chapitre IV. de garantir du choc une base formée de deux quarts de cercle separés par un rectangle mis entre deux: cette base sera d'environ 530 pieds quarrés; & il ne s'en faudra que très-peu que nous ne formions le conoïde irregulier dont nous la couvrirons, par cette portion de la ligne courbe qui fait diminuer l'impulsion $6\frac{2}{5}$ fois. Ainsi les 530 pieds de la base se reduiront à environ $82\frac{1}{2}$: c'est-à-dire que l'impulsion sera la même que si l'eau frappoit perpendiculairement une surface plane de $82\frac{1}{2}$ pieds quarrés d'étendue.

177

I I.

La ligne courbe qui forme le conoïde de M. Bernoulli a deux branches jointes par un point de rebroussement; l'une présente sa convexité en dehors & l'autre sa concavité. On s'est contenté d'inserer dans la Table précédente les dimensions de la premiere; parce que l'autre formeroit un conoïde trop obtus. Il est plusieurs autres conoïdes qui jouissent sensiblement de la propriété d'éprouver la moindre résistance, s'ils n'en jouissent pas absolument. On trouve dans le Livre des *Principes Mathématiques de la Philosophie naturelle* la construction du Problème suivant, mais sans démonstration; un demi cercle BED (Fig. 106) étant proposé & la saillie ou hauteur AC que doit avoir le tronc de cone GHIEBD qui doit couvrir cette base étant donnée, trouver entre tous les troncs possibles qui ont la même hauteur & la même base, celui qui doit recevoir tant par sa surface courbe que par le plan GH le moins de choc qu'il se peut, de la part d'un fluide qui viendrait le rencontrer parallèlement à l'axe AC, ou perpendiculairement à la base BED. M. Newton a découvert que pour détermi-

ner

ner le sommet F où les côtés de ce cone iroient se rencontrer, si le cone n'étoit pas tronqué, il n'y a qu'à diviser AC par la moitié par le point O, & faire OF égale à OB ou OD. C'est ce que plusieurs Géometres ont démontré depuis; & il faut remarquer que ce cone tronqué formeroit déjà une prouë qui fendroit l'eau avec beaucoup de facilité. Car nous avons vû dans le Chapitre V. de la premiere Section de ce troisième Livre, qu'une prouë conique peut faire diminuer considérablement la résistance que fait l'eau au mouvement du sillage; & le cone tronqué dont il s'agit ici est encore préférable. Mais cela supposé, il est évident qu'on peut chercher de la même manière le tronc de cone *de moindre résistance* dont il faudroit couvrir le demi cercle *b e d*, qui est à une certaine distance du premier BED. Il faudroit diviser également Ac par la moitié par le point o; & faisant of égale à ob ou à od, on auroit le point de rencontre f des côtés, qui doivent former le nouveau tronc *ghiebd*. Rien n'empêcheroit de repeter successivement la même chose; & le solide éprouveroit toujours une résistance qui deviendroit moindre. Mais pour n'avoir point à y revenir, il n'y a qu'à repeter tout d'un coup cette opération une infinité de fois; ce qui sera très-facile, aussi-tôt qu'on emploiera la méthode inverse des tangentes. Il suffit pour cela de considérer que les côtés du cone, dont la construction de M. Newton nous indique la position, ne sont autre chose que les tangentes continuelles du conoïde que nous voulons découvrir.

Si on nomme x les parties variables AC ou Ac de l'axe, & y les ordonnées correspondantes CD ou *cd*, on aura $\sqrt{\frac{1}{4}x^2 + y^2}$ pour les distances OD ou *od*; & par conséquent les soutangentes CF ou *cf* de la courbe génératrice du conoïde, seront $\frac{1}{2}x + \sqrt{\frac{1}{4}x^2 + y^2}$. Mais comme ces mêmes soutangentes sont exprimées par $\frac{ydx}{dy}$, nous aurons $\frac{1}{2}x + \sqrt{\frac{1}{4}x^2 + y^2} = \frac{ydx}{dy}$ qui devient $dy \sqrt{\frac{1}{4}x^2 + y^2} = ydx - \frac{1}{2}x dy$

E e e e.

Fig. 106.

& $ydy^2 = ydx^2 - xdx dy$; équation différentielle qui caractérise la courbe qu'il s'agit de découvrir. Prenant ensuite une nouvelle variable z & une constante a , en les supposant telles que $dx = \frac{zdy}{a}$, si on introduit cette valeur de dx dans l'équation, & qu'on fasse les autres changemens nécessaires, on trouvera $x = \frac{yz}{a} - \frac{ay}{za}$, & enfin $\frac{a^2 dy}{y} = z dz +$

$\frac{a^2 dz}{z}$, dont on tirera en intégrant, Ly

$= \frac{z^2}{2a} - \frac{1}{2} a + Lz$. Ainsi le Problème est

entièrement résolu; on ne sçait pas la relation immédiate qu'ont entr'elles les abscisses & les ordonnées de la courbe; mais on sçait la relation qu'elles ont par rapport à une troisième quantité, & cela suffit. Pour chaque grandeur qu'on attribuera à z , on trouvera aisément par l'équation $Ly = \frac{z^2}{2a} - \frac{1}{2} a + Lz$, la grandeur que doit avoir y ; & il ne restera plus qu'à introduire ces deux valeurs de z & de y dans la formule $x = \frac{yz}{a} - \frac{ay}{z}$, pour avoir l'abscisse x correspondante de l'ordonnée y déjà trouvée.

C'est de cette sorte que j'ai calculé la Table qu'on voit ci à côté, qui indique un assez grand nombre de points de la courbe pour qu'on puisse la tracer exactement. Cette Table comparée avec l'autre que nous avons rapportée ci-dessus; & encore mieux les équations rapprochées l'une de l'autre, ne laissent aucun lieu de douter que les deux conoïdes ne soient différens, & il est certain aussi qu'ils ont, par rapport à la moindre résistance, des propriétés très-distinctes.

TABLE	
Des dimensions d'un nouveau conoïde qui doit éprouver peu de résistance en traversant les milieux.	
Abcisses ou parties de l'axe de la proue.	Ordonnées ou demies largeurs de la proue.
0	100
23	122
55	150
97	183
155	226
233	280
340	349
675	552
962	701
1344	896
1876	1155
2619	1501
3665	1969
5143	2593
8247	3451
10261	4632
14605	6269
20909	8559
30122	11788
43619	16379
64773	22961
93780	32478
138926	46355
207366	66766
311931	97045

Celui que nous venons de trouver actuellement , qui n'est autre chose que le cone tronqué de moindre résistance , perfectionné une infinité de fois , ne fait que s'approcher continuellement , & de plus en plus , de la figure la plus avantageuse : de sorte que la perfection est , pour ainsi dire , une asymptote à son égard. Mais la propriété dont il jouit s'étend au moins à toute l'impulsion à laquelle il est exposé , y compris celle que reçoit le petit demi-cercle , ou le petit plan qui se trouve toujours au sommet. Dans l'ancien conoïde au contraire , c'est seulement ou toute la surface courbe ou toutes les zones de cette surface comprises entre deux cercles paralleles , qui ont la propriété de recevoir la moindre impulsion ; & le petit cercle qui reste à l'extrémité en est toujours exclus.

III.

Les deux conoïdes précédens sont sujets à un inconvénient considerable , lorsque le Navire s'incline dans les routes obliques : l'endroit qu'on regardoit comme le plus large de la carène entre dans l'eau & s'y plonge de toute la quantité de l'inclinaison. Si pour éviter d'un autre côté cet accident qui peut avoir des suites fâcheuses , on élève au-dessus de la mer l'endroit le plus large du Navire , le demi conoïde qui sert de prouë perdra la propriété qu'il avoit d'éprouver la moindre résistance ; parce que ce seront des parties toutes differentes des zones de la surface , qui seront exposées au choc. C'est ce qui nous a invité à construire encore la Table suivante qui marque les dimensions qu'il faut donner au conoïde , lorsqu'il ne plonge qu'en partie , & nous l'avons instituée pour deux cas differens ; en suposant dans l'un que la partie de la prouë ou de la carène qui restoit au-dessus de l'eau , avoit deux fois plus d'épaisseur ou de hauteur que dans l'autre. Nous avons suivi pour construire cette Table les vestiges de la solution générale qu'on verra dans le Chapitre suivant. Ces sortes de calculs sont si rebutans qu'il est naturel de s'y

588 T R A I T É D U N A V I R E ,
 refuser le plus qu'on peut. Le conoïde de moindre résistance qui n'est submergé qu'en partie, est très-different de l'autre vers son sommet; mais ils deviennent presque conformes, à une certaine distance, & exactement les mêmes, lorsqu'on les prolonge infiniment; car ils se confondent l'un & l'autre avec celui qui est formé par la dernière parabole du quatrième degré, c'est-à-dire par celle dont les cubes des abscisses sont comme les ordonnées élevées à la quatrième puissance. Lorsqu'on aura donc, dans le cas présent, tracé avec soin, sur les dimensions que nous donnons, le commencement de la courbure qui est plus marquée, on pourra ensuite sans erreur sensible emprunter la figure de l'ancien conoïde.

T A B L E

Des dimensions de deux prouës conoïdales qui n'éprouvent la moindre résistance de la part de l'eau, que lorsqu'elles ne sont pas entièrement sumergées.

Lorsque l'axe de la proue est élevé de 1000 parties au-dessus de la surface de l'eau.				Lorsque l'axe de la proue est élevé de 2000 parties au-dessus de la surface de la Mer.			
Abcisses ou parties de l'axe.	Ordonnées ou demiés largeurs.	Abcisses ou parties de l'axe.	Ordonnées ou demiés largeurs.	Abcisses ou parties de l'axe.	Ordonnées ou demiés largeurs.	Abcisses ou parties de l'axe.	Ordonnées ou demiés largeurs.
0	1045	1372	1800	0	2023	3223	3400
3	1050	1854	2000	5	2030	3825	3600
21	1070	2368	2200	14	2040	4449	3800
83	1125	2910	2400	36	2060	5093	4000
150	1175	3478	2600	89	2100	5756	4200
264	1250	4069	2800	248	2200	6438	4400
347	1300	4682	3000	433	2300	7136	4600
435	1350	5069	3400	636	2400	7851	4800
527	1400	7329	3800	1082	2600	8582	5000
721	1500	8753	4200	1570	2800	9327	5200
927	1600	10239	4600	2093	3000	10859	5600
1145	1700	11781	5000	2645	3200	12446	6000

CHAPITRE III.

Une base étant donnée , trouver la figure du solide dont il faut la couvrir pour que l'impulsion qu'elle souffre en traversant un fluide , soit la moindre qu'il est possible.

I.

TOUS les conoïdes dont nous venons de parler, ne satisfont qu'à un cas très-limité du Problème général, dans lequel il s'agit de garantir du choc, non pas un plan circulaire, mais une base quelconque, en la couvrant d'une espèce de conoïde qui éprouve de la part du fluide la moindre impulsion possible. Pour ne pas renvoyer le Lecteur au Volume de 1733 des Mémoires de l'Académie des Sciences où nous avons traité ce Problème, nous en donnerons ici une autre solution qui aura d'ailleurs plus de rapport avec les choses qui nous restent à dire. Supposons que ABA (Fig. 107) est la base proposée, ou ce qui revient au même, que c'est la coupe de la carène faite perpendiculairement à sa longueur dans l'endroit le plus gros. Au lieu de former les autres coupes par des figures semblables ou à peu près semblables, nous leur donnerons les figures DEBED, FGBGF, &c. ou nous les terminerons de chaque côté par des droites verticales DE, DE & FG, FG &c, & en bas par des portions EBE, GBG de la courbe ABA. Nous pourrions substituer à la place des verticales DE, FG, des lignes inclinées, ou même des courbes, en observant seulement qu'elles fussent exactement parallèles. Cette condition est ici essentielle, pour la simplicité de la solution, parce que l'impulsion du fluide sur toutes les parties de la même zone, se fait ensuite exactement avec la même incidence; comme on le voit avec facilité en jettant les yeux sur la figure 108 qui représente

Fig. 107.

Fig. 107.
& 108.

le solide que nous voulons déterminer. Toute la partie ABI de la surface du solide est cylindrique ou comme cylindrique, & la surface AHI, quoique courbe de A vers HI, est formée de lignes droites posées verticalement. Il est clair aussi que si on coupe ce solide perpendiculairement à son axe CH par une infinité de plans, ces coupes fourniront les quadrilatères mixtilignes DEBED, FGBGF, &c. de la figure 107. Et il n'est pas moins évident que le fluide ne frappant point la partie inférieure de chacune des zones dans lesquelles sera partagée toute la surface du solide, il ne rencontrera que les seules parties des flancs de chaque zone comme OPSR, & qu'il en rencontrera chaque partie avec la même obliquité.

Je nomme x les abscisses ou parties HM, HL, &c. de l'axe HC du solide & y les ordonnées correspondantes MV, LR, &c. Ces ordonnées sont égales à CF & à CD de la base ABA (Fig. 107); & puisque cette base est donnée, on sait la relation des distances CF ou CD aux verticales FG & DE. Ces dernières lignes sont égales à une fonction des premières; de sorte que celles-ci étant désignées par y , nous pourrions désigner les autres par Y , & nous réussirions toujours à rapporter le Problème à la quadrature des courbes; mais nous nous contenterons d'em-

ployer d'abord $b^2 - cy^2$, expression dans laquelle il n'y a que y de variable. Je reviens au solide même, & je considère que le fluide venant le rencontrer parallèlement à son axe HC, il rencontre chaque zone ORSP avec une incidence égale à l'angle ORN formé par le petit élément OR de la courbe AH de saillie, & par RN qui est parallèle à l'axe HC. Si nous prenons l'unité pour sinus total, nous trouverons le sinus de l'angle d'incidence par cette analogie: OR ($\sqrt{NR^2 + NO^2}$) = $\sqrt{dx^2 + dy^2}$

est à NO = dy , comme l'unité est à $\frac{dy}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$, & nous aurons $\frac{dy^2}{dx^2 + dy^2}$ pour le carré de ce sinus. Or il faut, comme

nous l'avons déjà dit tant de fois, multiplier ce quarré, non pas par toute la surface de la zone OS, mais par son étendue projetée sur un plan perpendiculaire à l'axe, puis que nous ne voulons avoir que l'impulsion relative dans le sens de l'axe : c'est-à-dire, que l'étendue qui doit être multipliée, n'a sur la hauteur $OP = DE = \overline{b^m - cy^{\frac{1}{n}}}$ que $ON = dy$ de largeur, & elle est donc exprimée par $OP \times ON$ ou par $\overline{b^m - cy^{\frac{1}{n}}} \times dy$; & l'impulsion relative sur la zone

OS, est $\frac{dy^3 \times \overline{b^m - cy^{\frac{1}{n}}}}{dx^2 + dy^2}$.

Il faut remarquer après cela, que nous confererons à toute la surface du solide la propriété de recevoir la moindre impulsion directe; si nous conferons cette propriété aux zones sensibles dont on peut la concevoir formée: & que les zones sensibles jouiront de cette propriété, si nous réussissons à la donner à toutes les zones infiniment étroites comme OS & RX considérées toujours deux à deux & consécutivement. Laisant pour cela les dy constantes, je fais seulement varier les dx d'une quantité infiniment

petite du second ordre ddx . L'impulsion $\frac{dy^3 \times \overline{b^m - cy^{\frac{1}{n}}}}{dx^2 + dy^2}$

que recevoit une des zones, souffrira le petit changement

$\frac{2dy^3 dxdx \times \overline{b^m - cy^{\frac{1}{n}}}}{dx^2 + dy^2}$; mais en même tems l'autre zone

recevra un petit changement contraire

$-\frac{2dy^3 dxdx \times \overline{b^m - cy^{\frac{1}{n}}}}{dx^2 - dy^2}$, parce que $NR = dx$ ne peut pas

dans une zone augmenter de la petite quantité $Rr = ddx$, sans qu'il se fasse sur dx dans l'autre zone, une diminution exactement égale ddx . C'est d'ailleurs ce que la figure offre aux yeux; car si la zone OPSR prenant la situation OPsr reçoit moins d'impulsion; parce qu'elle est choquée avec une plus grande obliquité, l'autre zone VXSR prendra en même tems la situation VXsr, & fera plus ex-

Fig. 107.
& 108.

Fig. 107.
& 108.

posée au choc. Enfin pour que les deux petites zones jointes ensemble reçoivent le moindre choc possible ; il faut conformément aux regles de *maximis* & de *minimis* que la différentielle de leur impulsion totale , soit nulle , & il faut donc que la différentielle particuliere & positive

$\frac{2dy^3 dx ddx \times \sqrt{b^m - cy^m}}{dx^2 + dy^2}$ de l'impulsion que souffre une des zones , soit exactement égale à la différentielle négative de

l'impulsion que souffre en même tems l'autre zone. Ainsi ces mêmes différentielles , considérées absolument , doivent être constantes , & elles seront donc encore égales à une grandeur déterminée a , lorsqu'on les aura également divisées par $2ddx$ qui est commune aux deux zones. C'est

pourquoi nous avons $\frac{dy^3 dx \times \sqrt{b^m - cy^m}}{dx^2 + dy^2} = a$ ou $dy^3 dx$

$\times \sqrt{b^m - cy^m} = adx^4 + 2adx^2 dy^2 + ady^4$ pour l'équation en premieres différences de la courbe AOH de la prouë.

Cette équation se résoudra comme à l'ordinaire , en supposant une nouvelle variable z qui soit telle que $dx = \frac{zdy}{a}$. L'introduction de cette valeur de dx dans l'équation ,

la changera en $\sqrt{b^m - cy^m} \times \frac{z}{a} = \frac{z^4}{a^3} + \frac{2z^2}{a} + a$, dont on

tire $y = \sqrt{\frac{1}{c} b^m - \frac{1}{c} \times \frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}}$; & cherchant la valeur de dy en différentiant pour l'introduire dans $dx = \frac{zdy}{a}$,

il vient $dx = -\frac{n}{mc} \times \frac{1}{c} b^m - \frac{1}{c} \times \frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z} \times \frac{z^3}{a^2}$
 $+ 2z + \frac{a^2}{z} \times \frac{3z^2 dx}{a^3} + \frac{2z dz}{a} - \frac{adz}{z}$. De sorte qu'on con-
 noît maintenant la relation de x & de y à une troisième
 quantité z , à laquelle il ne s'agit plus que d'attribuer au-
 tant de différentes valeurs , qu'on voudra obtenir d'ordon-
 nées

nées y & d'abscisses x , ou qu'on voudra déterminer de différens points de la courbe AOH. Cette courbe ne parviendra pas ordinairement jusqu'au point A; mais on fermera l'ouverture qu'elle laisse, en prolongeant la surface IHOP.

Fig. 107.
& 108.

Cette solution, qui peut servir de modele à toutes les autres, est aplicable par elle-même, comme il est évident, à une infinité de différentes bases. Elle donnera à la proue une figure qui ne sera toujours sujette qu'à peu de dérive, & qui sera outre cela exempte des plus grands mouvemens du tangage. En mettant des nombres positifs à la place des exposans m & n , on fera convenir cette solution aux bases terminées par les cercles de tous les genres, & si on fait en particulier ces exposans $= 2$, afin de reduire la valeur générale $\sqrt{b^2 - cy^2}$ des verticales ou ordonnées FG; DE de la base de la figure 107, à $\sqrt{b^2 - cy^2}$ qui appartient à l'ellipse ordinaire, on apprendra la courbure qu'il faut donner au solide qui doit couvrir cette figure. On aura alors

$$y = \sqrt{\frac{1}{c} b^2 - \frac{1}{c} \times \frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}} \quad \& \quad dx = \frac{-\frac{1}{c} \times \frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z} \times \frac{3z^2 dz}{a^2} + \frac{2z dz}{a} - \frac{adz}{z}}{\sqrt{\frac{1}{c} b^2 - \frac{1}{c} \times \frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}}}. \text{ Il suffit d'af-}$$

fecter le coefficient c de signes contraires lorsque les bases sont hyperboliques; & si on se contente de faire $n = 1$, sans changer le signe de c , la solution conviendra aux bases paraboliques de tous les genres, dont B sera le sommet & BC l'axe. Lorsqu'on voudra en particulier que la base BAB soit une parabole ordinaire; il faudra supposer $m = 2$ en faisant toujours $n = 1$, afin de reduire

la valeur $\sqrt{b^2 - cy^2}$ des verticales FG à cette autre $b^2 - cy^2$, dans laquelle b^2 désigne CB, & cy^2 la quantité dont chaque verticale est plus courte. On aura alors $y =$

F fff

Fig. 107.
& 108.

$$\sqrt{\frac{1}{c}b^2 - \frac{z^3}{ca^2} - \frac{2z}{c} - \frac{a^2}{cz}} \& dx = \frac{\frac{3z^2 dz}{ca^2} + z dz - \frac{a^2 dz}{2z}}{\sqrt{c} \sqrt{b^2 - \frac{z^3}{a^2} - 2z - \frac{a^2}{z}}}$$

Les cas les plus simples ne sçauroient manquer de se trouver renfermés dans cette solution générale. Suposé que les longueurs OP, RS des zones diminuent en progression arithmétique, ou suivent la même loi que dans le conoïde circulaire où les circonférences des zones sont comme leur rayon, il n'y aura qu'à rendre les verticales FG, DE, &c. proportionnelles à leur distance CF, CD (=y) au centre C, & il suffira pour cela de changer le signe de c, & de suposer b=0, & les exposans m & n égaux à l'unité, afin de convertir la valeur générale $\overline{b^m - cy^{\frac{1}{n}}}$ des verticales en cy. Il est clair qu'on doit trouver ensuite la même courbure de saillie que pour le conoïde circulaire; car il n'importe que les zones soient étenduës en lignes droites ou qu'elles soient pliées en arc de cercle, aussi-tôt qu'elles sont de même longueur, & que toutes leurs parties sont également exposées au choc. Aussi

la valeur $\frac{1}{c} \times b^m - \frac{1}{c} \times \frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}$ de y se réduit-elle à

$$\frac{1}{c} \times \frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z} \& \text{celle} - \frac{n}{mc} \times \frac{1}{c} b^m - \frac{1}{c} \times \frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}$$

$$\times \frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z} \times \frac{3z^2 dz}{a^2} + \frac{2z dz}{a} - \frac{a dz}{z} \text{ de } dx \text{ à } \frac{1}{c}$$

$$\times \frac{3z^2 dz}{a^2} + \frac{2z dz}{a} - \frac{a dz}{z}; \text{ ce qui s'accorde parfaitement avec}$$

la solution de M. Bernoulli. Enfin si les verticales FG, DE au lieu de croître en progression arithmétique, sont toutes parfaitement égales à CB; ce qui doit arriver lorsque la base ABA est un rectangle, il faut suposer c nulle, afin de reduire l'expression $\overline{b^m - cy^{\frac{1}{n}}}$ des verticales à une grandeur constante $b^{\frac{m}{n}}$; & cette suposition étant admise

dans l'équation $b^{\frac{n}{n-1}} - cy^{\frac{1}{n-1}} \times \frac{z}{a} = \frac{z^4}{a^3} + \frac{2z^2}{a} + a$ qui est la Fig. 107;
& 108.
 première transformée de l'équation différentielle du Problème, il viendra $b^{\frac{n}{n-1}} \times \frac{z}{a} = \frac{z^4}{a^3} + \frac{2z^2}{a} + a$, qui nous apprend que z au lieu d'être variable, a une valeur déterminée, & que par conséquent le rapport de dx à dy , renfermé dans $dx = \frac{zdy}{a}$, est constant. Il suit de là que la ligne de saillie AOH est droite, & que la proue est alors terminée par deux plans verticaux qui viennent se rencontrer ou se couper dans la verticale HI; ce qui seroit une confirmation de ce que nous avons établi dans le premier article du Chapitre I. si la chose en avoit besoin.

II.

Nous avons dit qu'on pourroit supposer que les longueurs des zones de la surface du solide exposé à l'impulsion du fluide sont comme une fonction quelconque des ordonnées de ce même corps, & que le Problème se résoudroit également. C'est ce que nous allons faire voir maintenant; en montrant en peu de mots que l'ancienne solution qui étoit particulière à la base exactement circulaire, s'étend fort aisément au cas le plus général, dans lequel la base proposée qu'il s'agit de garantir du choc, peut avoir toute autre figure.

Que ABA (Fig. 109.) soit la base proposée; & concevons au dedans une infinité de lignes courbes GHG, FEF parfaitement parallèles au circuit extérieur ABA. Toutes ces lignes représenteront les contours des zones à peu près circulaires dont nous voulons maintenant que soit formée la surface du conoïde. Ainsi si les coupes du conoïde faites parallèlement à sa base ABA ou perpendiculairement à son axe, ne sont pas encore ici semblables entr'elles & à la base, elles auront au moins toujours beaucoup plus de conformité. L'une de ces coupes, faite à peu de distance

Ffff ij

Fig. 109.

de la base, sera égale à FEF, pendant qu'une autre moins éloignée du sommet, sera égale à GHG. Il est d'ailleurs évident que le parallélisme exact de toutes les lignes courbes FEF, *fef*, sera cause que chaque zone aura exactement la même largeur dans tout son contour, & qu'elle recevra le choc du fluide avec la même incidence dans toutes ses parties. Ainsi tous les raisonnemens que nous avons faits sur les zones étendues en ligne droite, sont applicables à nos zones exactement courbées; & c'est précisément le même cas. Nous nommerons toujours x les parties de l'axe du conoïde à commencer à son sommet, & y ses ordonnées que nous prendrons dans le plan vertical qui le coupe selon son axe par la moitié & perpendiculairement à la base ABA. C'est-à-dire, que y ne désignera pas les demies largeurs horizontales du conoïde qui peuvent être plus ou moins grandes, selon que la base ABA & toutes les autres coupes parallèles diffèrent plus ou moins du cercle; mais que y désignera les profondeurs du conoïde, ou les seules ordonnées verticales dont CB est la plus grande & la dernière; en un mot, y marquera toutes les lignes CH, ou Ce, CE, pendant que dy indiquera les parties comme Ee. Si après cela nous nommons Y les circuits, ou ce qui revient au même, les demi-circuits HG ou EF des lignes courbes qui servent de longueur aux zones, & que nous fassions les mêmes opérations en employant Y , que nous avons faites dans l'art. précédent en employant $\overline{b^n - cy^n}^{\frac{1}{2}}$; au lieu de parvenir à l'égalité $\frac{dy^3 dx \times \overline{b^n - cy^n}^{\frac{1}{2}}}{dx^2 + dy^2} = a$, nous parviendrons à $\frac{dy^3 dx \times Y}{dx^2 + dy^2} = a$, ou à $Y dy^3 dx = a dx^4 + 2a dx^2 dy^2 + a dy^4$, qui est donc l'équation constitutive du Problème en premières différences, & nous la changerons en $Y = \frac{x^3}{a^2} + 2x + \frac{a^2}{x}$, lorsque nous introduirons $\frac{z dy}{a}$ à la place de dx .

Mais cela supposé, le Problème se réduit sans peine à la simple quadrature des courbes; car il ne s'agit pour cela que de donner des valeurs géométriques aux deux équations

$$Y = \frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z} \quad \& \quad dx = \frac{zdy}{a}, \quad \text{ou de les réaliser,}$$

pour ainsi dire. Après avoir prolongé BC vers M, je prends le point C pour l'origine des quantités z que j'étends le long de CM; & faisant les perpendiculaires SR, VT, &c. égales aux diverses valeurs de Y , je trace la courbe

$$NRQ \text{ en l'assujettissant à l'équation } Y = \frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}.$$

Cette courbe est facile à décrire; ses ordonnées comme VT, sont toujours formées de trois parties, dont l'une $\left(\frac{z^3}{a^2}\right)$ est proportionnelle au cube de l'abscisse correspondante CV; l'autre partie est proportionnelle à l'abscisse même, & en est le double ($2z$); & la troisième $\frac{a^2}{z}$ suit la raison inverse des mêmes abscisses. En un mot, on trouvera les ordonnées VT de la courbe QRN, en ajoutant ensemble les ordonnées de trois autres lignes; d'une première parabole cubique comparée à sa tangente à son sommet; d'une ligne droite comparée à une autre droite, & d'une hyperbole comparée à son asymptote. La courbe QRN a la ligne droite CO pour asymptote; l'autre branche RN a pour asymptote une parabole cubique; & il est facile de voir que la plus petite ordonnée SR est égale à $\frac{16}{3\sqrt{3}} \times a$ qui répond à l'abscisse $CS = a\sqrt{\frac{1}{3}}$; de sorte que SR est à CS comme 16 est à 3.

La courbe QRN étant tracée une fois, sert pour toutes les différentes bases ABA qu'on peut proposer; parce qu'elle ne dépend point de la nature de cette base; mais nous avons besoin d'une autre courbe CLI qui en dépend. Cette seconde a ses ordonnées HL, EK, &c. égales à la longueur des zones, ou au circuit des courbes HG, EF correspondantes, que nous avons considérées au-dedans de la base, & rendues exactement parallèles à son circuit. Lors-

Fig. 102.

Fig. 109. que la base est un cercle, toutes les courbes qui sont concentriques, & qui sont aussi des cercles, sont en progression arithmétique, & la courbe CLI devient droite: au lieu qu'elle est dans les autres cas presque toujours mécanique ou transcendante. Un autre moyen de rendre cette courbe géométrique, c'est celui que nous avons déjà employé, de rendre droites les zones dans leur longueur: alors toutes ces longueurs ont entr'elles une relation qu'on peut exprimer en termes finis, puisqu'elles le sont par les droites mêmes tirées au dedans de la base ABA que nous supposons géométrique. Mais enfin on trouvera toujours au moins par les séries ou par les autres méthodes d'approximation la longueur des courbes HG & EF, & par conséquent des droites HL & EF qui leur sont égales: & si de leur extrémités L & K on conduit parallèlement à BM les lignes LR & KT jusqu'à la rencontre de la courbe RN, & que des points R & T, on tire les ordonnées RS, TV, &c. on obtiendra la relation continue des quantités y , Y & z . Car pendant que CE représentera y , la ligne EK nous donnera la valeur de Y , & CV celle de z , & ces trois quantités seront les correspondantes les unes des autres: pour chaque valeur CE de y , nous trouverons toujours en passant de la courbe CLI à la courbe QRN, la valeur CV de z qui lui répond.

Ainsi il ne reste plus pour obtenir la valeur des parties élémentaires dx de l'axe du conoïde, que nous offre l'autre équation $dx = \frac{zdy}{a}$ qu'à transporter les abscisses CV (z) en EZ sur le prolongement de KE: on fera passer par tous les points Z une nouvelle courbe YZX dont on connoîtra toutes les ordonnées, qui sera géométrique toutes les fois que la courbe CLI le sera; & ses trapezes élémentaires ZE ez compris entre deux ordonnées infiniment voisines & qui seront les produits de ZE = z par Ee = dy , nous donneront des quantités continuellement proportionnelles aux petites parties dx de l'axe ou de la saillie du conoïde que nous voulons déterminer. Nous pouvons nous

dispenser d'avertir que la courbe YX ne sera quelques fois Fig. 109; que la courbe RN simplement transposée; puisque cela n'arrivera jamais que lorsque CI sera une ligne droite, ou que le conoïde sera exactement circulaire. Mais de ce que les petits trapezes EZ *z* sont proportionels aux *dx* ou égaux aux *dx* multipliées par *a*, il résulte que nous n'avons qu'à chercher par les méthodes que nous enseigne la géométrie les aires des parties sensibles comme BXZE qui commencent à la dernière ordonnée BX, & que les divisant par *a* ou par son égale $\frac{3\sqrt{3}}{16} \times SR$, nous aurons les parties sensibles de l'axe du conoïde, à commencer de sa base: de sorte que nous sçaurons à quelle distance de cette même base il faudra placer chaque coupe comme FEF. Si on cherche au contraire l'étendue des espaces comme YHEZ qui commencent à la première ordonnée YH qui est égale à SC ou à $a\sqrt{\frac{1}{3}}$, on obtiendra en les divisant par *a* les parties *x* de l'axe du conoïde qui commencent à son sommet. L'autre branche RQ de la courbe NRQ fournira d'autres valeurs de *z*, qui étant appliquées perpendiculairement le long de HB, donneront une autre courbe YX, & d'autres valeurs pour les parties de l'axe du conoïde. La proue prendra une autre forme; mais elle sera toujours également ouverte par l'extrémité. Le demi-circuit HG de l'ouverture sera toujours égal à la plus petite ordonnée SR de la courbe QRN.

C H A P I T R E I V.

De la formation de plusieurs autres prouës qui éprouvent la moindre résistance possible en fendant l'eau.

ON voit qu'il sera toujours facile de déterminer le solide dont on doit couvrir toute base proposée: il est même clair qu'en variant le système de ses coupes, on réus-

sira à trouver différentes solutions de ce Problème qui paroïssoit auparavant assez difficile à traiter, lorsqu'on le considéroit généralement. Il faut cependant avouer qu'il n'est pas aisé dans la pratique de profiter de cette généralité, parce qu'il faudroit nécessairement s'engager dans le calcul d'un trop grand nombre de différentes tables pour les mettre entre les mains des Constructeurs. C'est ce qui m'a invité à chercher si on ne pouvoit pas tirer parti des Tables déjà calculées des deux premiers conoïdes du Chapitre II. & j'ai reconnu sans peine qu'elles pouvoient nous suffire.

I.

Si l'ancien conoïde possède seul la propriété de recevoir sur chaque zone de sa surface, de quelque largeur qu'elle soit, la moindre impulsion possible, les deux conoïdes ont au moins cela de commun, quoique le second ne jouisse de cette propriété que sensiblement, que les especes de triangles, qui sont interceptés entre deux diverses situations de la courbe génératrice, & qu'on peut considérer comme les élémens de la surface, éprouvent aussi la moindre résistance. Il suit de-là que si la base du conoïde au lieu d'être un cercle, est un triangle ABD (Fig. 110.) on doit former avec la même courbe le conoïde triangulaire ADEB dont il faut couvrir ce triangle. Car la surface du conoïde triangulaire sera composée de triangles élémentaires de même grandeur, & également exposés à l'impulsion du fluide que ceux du conoïde circulaire. On voit assez que ce ne sont pas les trois courbes qui forment les arrêtes AE, BE & DE, qui doivent être égales à la courbe génératrice de l'un ou de l'autre conoïde dont la base est un cercle; mais que c'est la courbe FE dont le plan CFE est perpendiculaire au côté AD. En effet si on considère dans cet endroit un triangle élémentaire Fef , il doit être parfaitement égal au triangle correspondant du conoïde circulaire inscrit; & il est évident que tous les autres triangles élémentaires qui forment chaque face AED, doivent

Fig. 110.

doivent recevoir la même impulsion que le triangle Fef , aussi-tôt qu'ils ont leurs bases Ff égales. On peut appliquer aussi ce que nous venons de dire des bases triangulaires à toutes les bases formées en poligone; aussi-tôt que toutes les perpendiculaires comme CF abaissées de leur centre sur leurs côtés, sont parfaitement égales. Fig. 110.

Ce sera encore la même chose à l'égard des bases mixtilignes formées en parties d'arcs de cercles & de lignes droites, conditionnées comme nous venons de le spécifier. Si par exemple la base ADB est formée par en haut de deux arcs de cercles égaux, dont le centre soit en C , & par en bas de deux lignes droites tangentes aux deux extrémités de ces arcs, lesquelles viennent se rencontrer en D ; il est évident que le solide conoïdal dont il faudra couvrir cette base, doit être encore formé des mêmes lignes courbes que l'un ou l'autre conoïde parfait, l'ancien ou le nouveau.

II.

Nous saisissons l'occasion, puisqu'elle se présente, de faire remarquer le grand avantage dont jouit le conoïde triangulaire de la figure 110. De toutes les bases de même étendue, c'est la circulaire qui est la moins propre à recevoir le solide de moindre résistance, & plus on réduira cette base à un poligone qui aura moins de côté, plus la figure deviendra avantageuse. Un quarré ou un rectangle est préférable à un cercle, & par la même raison un triangle est préférable à un quarré, & est à cet égard, plus avantageux que tous les autres poligones. La différence ne vient pas du plus ou du moins de fluide que le solide rencontre dans son mouvement, puisque les bases étant de même grandeur, tous les solides sont exactement choqués par le même nombre de molécules; mais l'avantage qu'a le triangle, & souvent aussi le trapeze sur le rectangle & sur tous les autres poligones, vient de ce que son apothème ou la perpendiculaire abaissée de son centre sur

G g g g

Fig. 110.

ses côtés , est plus petite ; ce qui est cause que le solide qui le garantit du choc , est plus aigu. On doit , par exemple , quant à l'incidence avec laquelle se fait le choc , ne comparer le conoïde triangulaire que nous avons sous les yeux , qu'avec le conoïde circulaire qui a la perpendiculaire CF pour rayon de la base. Ainsi il est réellement moins obtus & éprouve moins de résistance que le conoïde circulaire dont la base est de même étendue que la sienne , puisque ce dernier a son rayon considérablement plus grand que CF. Le conoïde triangulaire étant préférable en fait de résistance , il l'est aussi en fait de dérive dans les routes obliques ; il rend cette dérive un *minimum minimorum*.

Si au lieu de comparer entr'elles les bases qui sont de même étendue , on compare celles qui ont la même largeur & la même hauteur , on verra que le conoïde circulaire est très-préférable au conoïde circonscrit qui a un rectangle pour base , mais que le conoïde triangulaire l'emporte encore de beaucoup sur les deux autres. Comme sa base est considérablement plus petite que la circulaire , il rencontre dans son mouvement une moindre quantité de fluide , & outre cela , il la rencontre plus obliquement , à cause de la petitesse de la perpendiculaire CF. Ces deux chefs rendent l'impulsion presque trois fois plus petite ; & il suit de là , que si les Frégates , dont les coupes faites perpendiculairement à la longueur , sont des demi-cercles , peuvent acquérir dans leur sillage la moitié de la vitesse absolue du vent ; celles auxquelles il sera permis de donner des coupes triangulaires , parce qu'elles seront moins embarrassées par le poids de leurs parties supérieures , pourront recevoir dans les routes à peu près directes , un quart plus de vitesse , ou prendre environ les cinq huitièmes de celle du vent.

III.

Mais pour revenir à la formation de nos solides , il est facile d'étendre infiniment davantage l'usage particulier de l'ancienne solution ou de l'ancienne figure , parce que ,

comme on l'a déjà dit plusieurs fois , la propriété de recevoir la moindre impulsion , n'est pas plus attachée à la surface entière qu'à quelle zone on veut , qui est comprise entre deux cercles paralleles. Suposons qu'il s'agisse d'une base ABDE (Fig. 111.) faite en rectangle ou en trapeze , entre les côtés duquel il y ait quelle proportion on voudra ; ou prenons une autre base (Fig. 112.) composée de deux quarts de cercle AOB & PED liés ensemble par un rectangle intermediaire BOPD. Je conçois dans ces bases au dedans les unes des autres des paralleles FGHI , KLMN , &c. au circuit ABDE ; en faisant en sorte que toutes les parties de ces paralleles soient exactement à la même distance les unes des autres : cette condition sera remplie dans la premiere de ces deux figures si tous les points G , L , &c. H , M , &c. sont situés sur les deux lignes droites BO , DP qui divisent les angles ABD , EDB , par la moitié. Ces paralleles représenteront les différentes coupes verticales de la prouë , faites perpendiculairement à son axe , ou parallelement au plan ABDE sur lequel elles sont projetées ; & il est évident qu'elles diminueront ici en progression arithmétique. Mais il n'en faut pas davantage , pour qu'on puisse donner la même courbure au conoïde dont il faut couvrir ces bases , qu'à l'ancien qui a pour base un cercle ; & cela parce que dans l'ancien conoïde , de même que dans tous les autres qui sont exactement circulaires , les circonférences des zones observent la même loi , ou qu'elles sont en progression arithmétique , aussi-tôt que les ordonnées s'excedent d'une quantité constante les unes les autres. J'examine le rapport qu'il y a entre la circonférence ABDE de la base & la parallele la plus intérieure , ou la plus petite , qui se reduit ici à la seule ligne OP. Je cherche deux ordonnées CD & XV , (Fig. 105.) qui ayent entr'elles le même rapport dans la courbe BVD , qui forme le conoïde parfait de *moindre résistance* ; & je reconnois que c'est de la partie DV de la courbe dont il faut se servir , pour former les conoïdes dont nous avons actuellement besoin.

Fig. 111.
& 112.

Gggg ij

Fig. 111. & 112. Le conoïde de la figure 111. aura trois faces distinctes , les deux latérales seront triangulaires & l'inférieure aura la forme d'une espece de trapeze. Mais chaque de ces faces doit avoir dans le sens perpendiculaire aux trois côtés AB, BD & DE de la base , la courbure représentée par l'arc DV de la figure 105. Ce sera la même chose , pour le conoïde de la figure 112. qui aura la forme représentée dans la figure 113. & qui se terminera de même que le précédent , par une ligne droite ST , excepté dans le cas où OP sera trop petite ; car alors l'un & l'autre conoïde aura une ouverture à son sommet , qui répondra à celle qu'a toujours le conoïde qui est exactement circulaire. Nos deux solides irreguliers ne ressemblent aucunement à celui dont nous les déduisons ; mais il est néanmoins évident que les zones des uns sont égales aux zones correspondantes de l'autre. Elles n'ont pas les mêmes rayons , où elles ne repondent pas aux mêmes ordonnées ; mais les différences des ordonnées sont exactement les mêmes ; de même que les petites parties de l'axe auxquelles elles repondent : de plus leurs circuits ou circonférences sont précisément de même longueur , ou ont au moins des longueurs proportionnelles. Ainsi , outre qu'elles ont des surfaces de même étendue , elles sont exposées au choc exactement avec la même incidence , & par conséquent les impulsions particulieres que souffrent toutes les zones , suivent la même loi ou la même progression. C'est pourquoi un des conoïdes ne peut pas éprouver de la part du fluide , la moindre résistance possible , sans que les autres n'ayent aussi la même propriété.

Fig 112. & 113. Si la largeur AE (Fig. 112 & 113.) de la base ou de la plus grande des coupes verticales est de 40 pieds , pendant que la hauteur ou le creux OB ou PD est de 16 pieds , comme cela se trouve dans plusieurs Navires , l'intervale OP sera de 8 pieds , & les arcs de cercle AB & DE qui auront 16 pieds de rayon , seront chacun d'environ $25\frac{1}{7}$ pieds. Ainsi la circonférence ABDE de la plus grande zone sera de $58\frac{2}{7}$ pieds ; au lieu que le circuit OP , ou ST,

de la plus petite , ne sera que de 8 pieds. Cela supposé , il n'est question que de trouver dans la courbe BD (Fig. 105.) ou dans la Table des dimensions de la même prouë , deux ordonnées qui soient dans le même rapport. On peut en trouver une infinité ; comme 308 & 2244 ; ou 400 & 2914 $\frac{1}{4}$, &c. On prendra les premières ou les dernières , selon qu'on voudra donner plus ou moins de saillie à la prouë. Si on s'arrête à 400 & à 2914 $\frac{1}{4}$, leur différence 2514 $\frac{1}{4}$ qui est égale à DY (Fig. 105.) représentera AO , ou BO , ou DP , pendant que la différence XC ou VY = 5470 des abscisses 78 & 5548 , marquera la saillie OS de notre conoïde ou de notre prouë , & que DV marquera la courbure AS. La différence DY = 2514 des ordonnées repondant à AO qui est de 16 pieds ; la différence 5470 des abscisses repondra à proportion à environ 34 pieds 9 $\frac{2}{3}$ pouces pour la saillie OS du conoïde ; & il n'y aura donc pour obtenir effectivement la courbure AS de la prouë , en employant notre Table , qu'à tracer une figure semblable à la cent cinquième , & qui soit assez grande pour que les 2514 parties de DY repondent à 16 pieds , ou les 5470 de YV à 34 pieds 9 $\frac{2}{3}$ pouces ; & alors la portion DV indiquera la courbure requise AS ou BS. En un mot , il n'y a toujours qu'à se souvenir que si la Table ne marque pas immédiatement les ordonnées & les abscisses de la courbe AS (Fig. 113.) ce n'est que parce que nous n'employons qu'une partie de la courbe DB de la figure 105. & que nous la raportons à une autre axe. Mais il n'y a qu'à retrancher 400 pour la valeur de XY , de toutes les ordonnées de la Table , & 78 pour la valeur de AX , de toutes les abscisses ; & on aura les ordonnées & les abscisses de l'arc VD par rapport à VY pris pour axe , ou les co-ordonnées de notre courbe AS (Fig. 113.) par rapport à son axe OS.

Fig. 112.
& 113.

I V.

Voici encore un expedient très-simple par le moyen duquel on donnera plusieurs autres figures à la prouë , &

dont on pourra se servir lorsqu'on voudra que la carène ait moins de façons. Cet expédient, qui a quelque rapport avec la solution du premier article du Chapitre précédent, consiste à donner aux coupes de la prouë, vers son extrémité, des figures différentes de celle qu'a la plus grande coupe : c'est ce que nous éclaircirons par quelques exemples.

Fig. 114.
& 115.

Lorsque la coupe verticale du Vaisseau faite perpendiculairement à sa longueur dans l'endroit le plus gros, sera un trapeze ABDE (Fig. 114.) au lieu de former les autres coupes par d'autres trapezes, dont les deux côtés & la base inférieure conservent un parfait parallélisme avec les côtés & la base du premier trapeze ABDE, comme dans la figure 111, il n'y aura qu'à retrecir seulement les trapezes FGHI, KLMN, &c. Le Lecteur sçait le motif que nous avons d'insister souvent sur ces sortes de figures ; nous l'avons exposé dans le Chapitre VII. de la Section précédente. Les coupes deviendront des triangles OVP, QRS, &c. lorsque le retrecissement sera porté plus loin ; & enfin la prouë deviendra semblable à celle qui est représentée dans la figure 115. A l'égard de toute la partie qui aura les trapezes pour coupes, il faudra qu'elle soit parfaitement rectiligne, ou ce qui revient au même, que les deux flancs de la prouë, soient des surfaces exactement planes, jusqu'à ce qu'ils viennent former par leurs extrémités le triangle OVP. Les deux flancs ABVO, & EDVP qui sont parfaitement plans, deviennent ensuite courbes prolongés au-delà du triangle OVP ; & la prouë prend la forme d'un conoïde triangulaire dont Z est le sommet, & qui est semblable à celui de la figure 110.

Il n'est pas difficile de se convaincre que toute la première partie de la prouë doit être formée par des plans. On voit assez qu'il ne faut point faire entrer dans les circuits des zones les bases BD, GH, &c. puisqu'elles ne sont point exposées au choc. Ainsi les circuits des zones n'augmentent plus ici en progression arithmétique ; mais ils sont parfaitement égaux ; & les lignes AO & BV, &c. (Fig. 115.) au lieu de répondre à une partie sensible de la

courbe BVD de la figure 105, ne le doivent faire qu'à une partie infiniment petite; & elles doivent par conséquent être droites. C'est ce qui se consilie aussi, non-seulement avec ce que nous avons vû à la fin du Chap. précédent, mais aussi avec ce que nous avons prouvé dans l'article I. du Chapitre I. Car si les lignes droites BV & DV (Fig. 115.) reçoivent la moindre impulsion possible, elles ne doivent pas perdre leur propriété, lorsqu'on leur donne une certaine largeur, pourvû que ce soit la même par tout.

Fig. 116.
& 117.

V.

Ce fera encore la même chose, si on le veut, lorsque la plus grande coupe AOPPOA (Fig. 116.) sera formée de chaque côté par un arc AO de cercle, par une droite OP tangente à l'extrémité O de l'arc, & enfin par une droite horisontale PP. Les autres coupes, comme FGH-IHGF, seront formées de chaque côté par un arc FG parallele à AO, & dont le centre sera en C; par une droite GH parallele & égale à OP; & par un arc de cercle HI dont le centre sera en P. Cette seconde coupe aura pour base II qui sera, pour ainsi dire, *le plat* de la varangue, & qui ne sera point exposée à l'impulsion; & cette base se réduira à rien, lorsque la coupe deviendra KMEMK. Mais enfin les contours ou les demi-contours, comme AOP, FGHI, KLME, qui seront exposées au choc de l'eau, au lieu d'être en progression arithmétique, seront encore parfaitement égaux dans toutes les premières zones, comme il est facile de le reconnoître. Ainsi il est certain que la saillie de la prouë doit être formée en ligne droite, au moins depuis la coupe APPA jusqu'à l'autre KLELK. Entre AO & KL, la prouë fera une portion de zone de cone: entre OP & LM, la surface sera un rectangle; & depuis P jusqu'en ME, ce sera une surface concave conique dont le sommet sera en P. C'est ce que j'ai tâché d'exprimer dans la figure 117, mais en laissant à l'imagination du Lecteur à suppléer au défaut de la repré-

Fig. 116.
& 117.

sensation. Au-delà de la coupe KMEMK, la prouë prendra sensiblement la forme dont nous avons parlé à la fin du premier article. Je dis sensiblement ; car elle ne prendra exactement cette figure qu'au-delà de la coupe RQR. Toute la partie interceptée entre KMEMK & RQR devroit être un peu plus convexe ; mais on peut sans inconvénient négliger cette plus grande convexité ; & se servir toujours des dimensions marquées dans la première Table du Chapitre II. Quelquefois on recherche avec soin les difficultés géométriques, pour avoir le plaisir de les résoudre ; au lieu que nous les évitons actuellement avec le même soin, afin d'épargner aux Constructeurs, s'il est possible, toutes les discussions un peu embarrassantes.

VI.

Fig. 114.

Toutes ces figures changeront un peu, si au lieu de donner à la prouë la propriété de fendre l'eau avec la plus grande facilité possible dans la route directe ; on veut qu'elle ait cette propriété dans les seules routes obliques, lorsque le Navire est le plus incliné. Si le Vaisseau ne s'inclinoit pas, ou si en s'inclinant, le circuit des coupes ou des zones de sa surface ne souffroit aucun changement, la figure qui éprouve la moindre impulsion dans un cas, l'éprouveroit aussi dans les autres ; ce qui arrive à la prouë parfaitement conoïdale. Mais il y a ordinairement de la différence, & lorsqu'il y en aura, il vaudra mieux s'attacher à accélérer la vitesse du sillage dans les routes obliques. Supposé donc que le Vaisseau donc ABDE (Fig. 114.) est la plus grande coupe verticale faite perpendiculairement à sa longueur, s'incline, lorsqu'il singe le plus obliquement, de manière que la ligne *ae* devienne horisontale & se trouve dans la surface de l'eau ; les circuits *aB + De*, *fG + Hi* &c, des coupes exposées au choc, ne seront plus égaux entr'eux, mais seront en progression arithmétique. C'est pourquoi les flancs de la prouë ne seront plus des surfaces planes comme dans la figure

figure 114, mais ils auront une courbure considérable qu'il faudra déterminer par la méthode expliquée dans l'article II. Rien ne changera dans la prouë dont AOPPOA (Fig. 116.) est la première coupe, à moins que pour rendre le Vaisseau meilleur voilier, on ne termine le haut de cette coupe, par deux tangentes Ta , Ta : lorsque le Navire singlera dans les routes obliques, ce sera ensuite $aTPPTb$ la partie actuellement plongée; & les circuits des premières zones, au lieu d'être égaux, pourront être considérés comme en progression arithmétique, quoi qu'ils ne suivent pas exactement cette progression.

VII.

Mais enfin on voit que dans toutes les différentes figures que nous attribuons à la coupe du Navire faite perpendiculairement à sa longueur dans l'endroit le plus gros, la prouë ne prend pas une plus grande courbure dans sa faillie, que n'en a la surface de l'un ou de l'autre conoïde parfait qui éprouve le moins de résistance; & que quelquesfois cette courbure s'évanouit entièrement & se transforme en ligne droite, pour ne rien dire du cas où elle passe de l'autre côté de la ligne droite, en devenant concave. Ainsi la courbure que doit avoir la prouë dans sa faillie, ne varie qu'entre des limites assez étroites. L'une de ces limites est la ligne droite, & l'autre laquelle on veut des deux courbes qui engendrent les deux conoïdes parfaits que nous avons montré à tracer. Selon que les circuits des zones de la prouë approchent plus d'être égaux entr'eux ou diminuent plus subitement, la figure s'approche plus ou moins de l'un ou de l'autre terme. On voit aussi maintenant la raison pour laquelle plus on diminue les façons de l'avant, plus on doit rendre les *lisses* droites*. On ne peut pas diminuer les façons sans augmenter le circuit des zones de l'extrémité de la prouë, puisque ces zones descendent ensuite plus bas ou plus près de la quille; & les circuits des zones approchant d'être égaux, la cour-

* Voy. le
Chap. II.
Section. I;
Liv. I.

Hhhh

bure dans le sens de la saillie doit disparaître, ou ce qui revient au même, toutes les *liffes*, non seulement celles d'en bas, mais celles d'en haut doivent perdre de leur courbure, & devenir plus droites. Il faudroit même les rendre parfaitement droites, conformément à ce que nous avons établi, si les contours des zones exposées au choc étoient exactement égaux.

Ce que nous avons dit touchant le retrecissement subit qu'on doit donner à la partie de la carène qui forme la prouë, à commencer de l'endroit le plus large, se trouve également confirmé ici. Car il n'importe que la prouë prenne dans le sens de sa saillie plus ou moins de convexité, la premiere partie de la courbure à commencer vers le milieu du Vaisseau, au lieu de rester sensiblement parallele à l'axe dans un certain espace, commence toujours par s'en approcher, ou à devenir convergente avec lui : ce qui démontre que le Navire doit perdre tout à coup sa plus grande grosseur, malgré la pratique contraire & constante de tous les Constructeurs. Il faut encore une fois que le premier gabari ou que cette coupe dans laquelle le Navire est le plus gros, soit marquée par une arrête; & que la prouë soit sensiblement distinguée de la poupe, ou la partie antérieure de la carène de la partie postérieure, à peu près comme le seroient deux cones, ou pour le moins deux conoïdes hyperboliques ou paraboliques joints par leurs bases. Je sçai bien qu'il est assez difficile de suivre entierement en cela les préceptes de la Théorie; une pareille arrête seroit très-sujette à se briser. Mais il faut au moins, si on peut se permettre de l'effacer, se ressouvenir qu'elle devroit subsister, & qu'elle est toujours demandée par la figure qui trouve le moins de résistance à fendre l'eau.

VIII.

Après tout, la nature du Problème que nous traitons actuellement, laisse une assez grande liberté aux Construc-

teurs, & c'est la même chose de tous les autres dont il est question dans cette Section. Quelquesfois, lorsqu'il s'agit d'obtenir le *maximum* ou le *plus grand* de certains avantages, on manque tout, si on s'éloigne le moins du monde du terme précis; & quelques autres fois on peut sans inconvénient se dispenser de s'y assujettir dans la dernière rigueur. Cette différence vient des diverses loix que suivent entr'elles les différentes quantités entre lesquelles il s'agit de choisir. Si ces quantités sont exprimées par les ordonnées d'une courbe qui devienne parallèle à son axe, il y a un espace considérable où toutes les ordonnées sont sensiblement égales; & quoi qu'il soit vrai mathématiquement parlant que le point où se trouve la plus grande ou le *maximum*, n'a aucune extension; il n'est pas moins certain qu'on peut dans la pratique s'arrêter à quelque distance de ce point, & jouir encore du même avantage. C'est ce qui arrivera toutes les fois qu'il faudra, comme ici, pour résoudre le Problème, rendre nulle la différentielle & non pas la rendre infinie. Le *maximum* étant de cette espèce dans toutes les Recherches présentes, il en résulte comme on le voit, une commodité considérable; on peut sans inconvénient alterer les figures géométriques, aussi-tôt qu'on y sera obligé par quelques circonstances, effacer les angles, adoucir certains contours &c. Il suffira dans tout cela de ne pas agir comme si on n'avoit aucune connoissance du terme dans lequel reside la perfection, & d'être attentif de ne violer que le moins qu'on pourra la règle, dans les occasions mêmes, où on sera obligé de la violer le plus. Il est vrai aussi, pour tout dire, que l'avantage qu'on peut se proposer ici est, par cette même raison, beaucoup moins considérable que celui qu'on obtiendra en changeant les principales dimensions du Navire. C'est le retrecissement de la carène ou son allongement qu'il faut sur tout avoir en vûe; parce que le changement n'a point alors de terme, ou qu'il n'a de borne que l'infini.

C H A P I T R E V.

De la prouë de la plus grande vitesse , ou de celle qui rend le Vaisseau le plus capable de porter la Voile , en même tems qu'elle fend l'eau avec le plus de facilité.

I.

* Voy. le
Chap. 8 de
la 1^{re}. Sect.
de ce 3^e.
Livre.

Nous nous sommes tellement livrés à l'examen des figures , qui souffrent par la rencontre des fluides la moindre impulsion possible , ou qui dérivent le moins qu'il se peut* , que nous avons comme oublié la distinction qu'il y a entre ces figures & celles qui sont réellement les plus avantageuses pour rendre le sillage rapide. Dans la recherche des premières, nous n'avons eu égard ni à la pesanteur du Navire , ni à la force qu'il doit avoir pour soutenir la voile : il n'a été question que de déterminer la forme qui devoit éprouver moins de résistance de la part de l'eau , quoi qu'il se puisse faire que cette propriété fasse tort à quelqu'autre qui influë autant sur le sillage. Il nous faut maintenant joindre l'autre considération , faire attention à la pesanteur du Navire , ou plutôt à son moment par rapport au métacentre. Il est certain qu'à cause de cette nouvelle condition , le premier degré de renflement que nous donnerons à la prouë , que nous regardions comme parfaite , ne sera toujours qu'avantageux. Car la résistance qu'éprouvoit la prouë étant un *minimum* , & sa différentielle étant nulle ; lorsqu'on commencera à grossir la prouë , en partant de cette figure déjà réglée , la résistance ne changera point , & néanmoins la solidité du Vaisseau , sa pesanteur , sa force pour porter la voile augmenteront ; & il y aura donc réellement à gagner. Il est vrai qu'il se peut faire que cet avantage ne s'étende pas loin ; parce que pour peu qu'on renflera la partie antérieure de la carène , la rési-

stance de l'eau augmentera en plus grande raison que la plus grande étendue qu'on pourra donner aux voiles. Mais puis qu'il est démontré que les premiers degrés de changement sont bons, il est à propos de voir si les autres ne le feront pas également : c'est toujours une chose qui mérite d'être sérieusement examinée.

II.

Nous ne devons pas regarder ici le transport d'une plus grande masse, comme un effet plus grand qui soit à rechercher; puis qu'il n'est question pour nous, que de procurer au sillage la plus grande rapidité possible; sans que nous nous mettions en peine le moins du monde, de la quantité de la charge que pourra porter la Frégate ou la Corvette. Il est vrai, que selon que la carène a plus ou moins de masse, son inertie se refuse d'abord plus ou moins à la vitesse qu'on veut lui imprimer, & que le Navire met plus ou moins de tems à acquérir son mouvement uniforme, comme nous l'avons déjà dit plusieurs fois. Mais qu'importe-t-il que cette acquisition se fasse plus ou moins vite; puisqu'il est certain que la chose se consomme toujours dès les premiers instans du sillage, avant même qu'on ait achevé d'orienter les voiles; & que le plus ou le moins de masse ne change rien au dernier effet ou à la vitesse acquise & déjà uniforme, qui ne dépend que du seul équilibre entre l'effort du vent & la résistance de l'eau? Ainsi il est clair qu'on doit s'attacher ici à diminuer cette dernière résistance, sans nul égard à la masse transportée; ou que si l'on y a égard, ce doit être dans l'unique vûe d'augmenter la stabilité du Navire, afin de pouvoir donner plus d'étendue aux voiles.

III.

Il y auroit une autre attention à avoir, si les Navires n'étoient destinés qu'à singler vent en poupe. Il faudroit rendre l'impulsion relative verticale de l'eau sur la proue,

la plus grande qu'il se pourroit par raport à l'impulsion relative qu'elle souffre dans le sens direct ou de l'axe. La prouë étant ensuite poussée en haut avec le plus de force , ou ce qui revient au même , la direction du choc de l'eau faisant un plus grand angle avec l'horison , *le point vélique* se trouveroit plus élevé ; le Vaisseau pourroit porter plus de voiles , & une mâture plus haute dans la route directe ; ce qui rendroit sa vitesse infailliblement plus grande ; puisque la résistance de l'eau seroit en même tems la moindre qu'il seroit possible , eu égard à la grande impulsion du vent. Mais il paroît plus sûr de regler les dimensions de la voilure sur ce qu'exigent les routes obliques , dans lesquelles la mâture trop haute exposeroit aux plus grands dangers : En effet , si pour profiter de l'avantage qu'à la route directe , on donnoit de plus grandes dimensions à la mâture , on se trouveroit exposé , à périr toutes les fois qu'il faudroit passer tout à coup à une route fort oblique , avant qu'on eût eu le tems de caler les voiles. Il faut remarquer outre cela que la propriété qu'auroit la prouë d'être poussée dans le sens vertical avec plus de force , préjudicieroit à celle qu'elle doit avoir d'être exposée à peu d'impulsion dans la détermination de son axe. Ces deux avantages bien loin d'être attachés l'un à l'autre , sont au contraire réellement incompatibles dans presque toutes les figures ; si on en excepte quelques unes , comme la prouë qui est terminée par un seul plan rectangulaire incliné en avant. C'est ce que nous pouvons sans doute nous dispenser de démontrer ; puisque , tant s'en faut que nous devions rechercher un de ces avantages au préjudice de l'autre ; nous ne pouvons pas même souvent en profiter , lorsqu'il vient comme s'offrir à nous.

I V.

Ainsi nous ne devons nous proposer dans la discussion présente , de diminuer la résistance que trouve la prouë à fendre l'eau , qu'autant qu'on le peut faire sans trop nuire

à la grandeur de la mâture : le Navire singlera ensuite plus vite , & on jouira de cet avantage sans courir de risque. Nous ne devons pas rendre la résistance un *minimum* absolu comme ci-devant ; mais la rendre la moindre que nous pouvons , eu égard au moment de la pesanteur du Navire par rapport au métacentre ; parce que c'est de la grandeur de ce moment que dépend la quantité des voiles que le Vaisseau peut soutenir. Si la poupe étoit assez grande par rapport à la prouë , pour qu'il fût permis de regarder son moment comme infini , alors le plus ou le moins de renflement de la prouë n'apporterait aucun changement au moment total , & il faudroit donc dans ce cas , choisir entre toutes les figures celle qui éprouveroit absolument la moindre résistance. C'est ce qui montre que les conoïdes que nous avons déjà déterminés , servent de limites d'un côté aux figures les plus avantageuses. A mesure qu'on suppose ensuite que le moment total de la pesanteur du Navire diminue , il faut renfler la prouë en s'éloignant par conséquent de la figure de moindre résistance ; & l'autre limite celle du plus grand renflement , se trouve , lorsqu'on supprime toute la poupe ou qu'on réduit le moment de la pesanteur du Vaisseau à n'être plus le moment que de la seule pesanteur de la prouë. Mais dans ce dernier cas , de même que dans tous les intermédiaires , la figure la plus avantageuse devient encore de plus en plus conforme à celle de la moindre résistance , à mesure qu'elle approche de son extrémité ou de son sommet : & cela parce que le moment de la partie restante diminuant toujours par rapport au moment total , on est plus en droit de considérer ce dernier moment comme infini.

V.

Outre cette affinité qu'il y a entre les deux figures de la prouë de la moindre résistance & de la prouë de la plus grande vitesse , ces deux figures deviennent absolument les mêmes , toutes les fois que la coupe horizontale de la carène faite à fleur d'eau , est donnée , ou est regardée com-

invariable. Nous sommes obligés de supposer ici que le centre de gravité du Navire est précisément dans le même point que le centre de gravité de sa carène: puisque nous ne sçavons pas de quelle matiere doit être formée la charge ou le lest. D'ailleurs il suffit que la pesanteur soit distribuée d'une maniere semblable dans les différentes figures qu'on compare actuellement, pour que cette supposition n'induise jamais à erreur. Mais aussi-tôt que la coupe horizontale de la carène faite à fleur d'eau, est invariable, sans que les diverses figures de la prouë y apportent de difference, la force qu'a le Navire pour soutenir la voile est constante, elle est égale ou proportionnelle au produit de la pesanteur p par la quantité $\frac{\frac{2}{3}fy^3dx}{p}$ dont son centre de

* Voyez
l'art. 2. du
Chap. 8. de
la Sect. 2.
du Liv. pré-
cédent.

gravité est au-dessous du métacentre *, & ce produit ou ce moment est égal à $\frac{2}{3}fy^3dx$. Ainsi l'alteration qu'on feroit à la figure de la moindre résistance, feroit non seulement inutile, elle feroit en pure perte. C'est ce qui ariveroit, par exemple, dans les Vaisseaux formés d'abord en paralléipedes rectangles, mais dont on termine ensuite la prouë par une seule surface inclinée en avant: car cette surface étant partout de même largeur, doit être parfaitement plane, afin d'éprouver de la part de l'eau la moindre résistance; & il est évident que la convexité qu'on lui donneroit en la rendant courbe, n'ajouteroit rien au moment ou à la force relative $\frac{2}{3}fy^3dx$.

Nous voyons par la même raison que la prouë de la figure 104 dont nous avons donné les dimensions à la fin du premier Chapitre de cette Section, réunit les deux propriétés, d'être de *la moindre résistance* ou de *la moindre dérive*, & en même tems de *la plus grande vitesse*: puisqu'on perdrait du côté de la moindre résistance, si on changeoit la courbure que nous avons trouvé qu'elle doit avoir dans le sens vertical, & qu'on ne gagneroit rien sur la quantité de voiles que le Navire peut soutenir. Mais ce ne sera plus la même chose, aussi-tôt que la figure de la premiere tranche de la carène faite à fleur d'eau, dépendra de la
conformation

conformation des autres parties de la prouë, comme cela arrive lorsqu'on s'affujetit à rendre la prouë exactement conoïdale : il est évident que les deux figures doivent être différentes dans ce cas. En renonçant un peu à la première, lorsqu'on renfle la prouë, on donne nécessairement plus de largeur vers l'avant, à la première tranche de la carène; & aussi-tôt que cette largeur est plus grande, la force relative ou la stabilité $\frac{2}{3} \int y^3 dx$ se trouve aussi plus grande, & le Navire peut porter une plus grande quantité de voiles. C'est ce qui se vérifiera aussi dans la Recherche que nous entreprenons actuellement de faire de la seconde de ces figures.

VI.

Nous travaillerons d'abord à découvrir les soutagentes de la courbe qui doit former le conoïde, en regardant la prouë comme un cone tronqué d'une base & d'une hauteur données, mais dont nous ferons varier la situation des côtés. Ce tronc de cone est représenté par BGIHDE (Fig. 106.) nous nommerons a sa hauteur ou sa saillie AC; b le rayon CE ou CD de la base, & s la longueur entiere qu'auroit l'axe CF du cone, s'il n'étoit pas tronqué. Le rayon AI ou AH de la petite base, sera $\frac{s-a \times b}{s} = \frac{FA \times CE}{FC}$; & si au lieu de chercher l'étendue de cette petite base, nous prenons le quarré de son rayon qui lui est proportionel, nous aurons $\frac{s^2 - 2as + a^2 \times b^2}{s^2}$ qu'il faut multiplier par le quarré du sinus total (l'unité) pour avoir l'impulsion $\frac{s^2 - 2as + a^2 \times b^2}{s^2}$ que souffre le petit plan GIH qui est frappé perpendiculairement. Nous trouverons le sinus de l'angle d'incidence avec lequel l'eau frappe la surface courbe du cone, en faisant cette analogie; $\sqrt{b^2 + s^2}$ ($=FE$) est à l'unité prise pour sinus total, comme b ($=CE$) est au sinus $\frac{b}{\sqrt{b^2 + s^2}}$ de l'angle EFC égal à l'angle d'incidence. Ce si-

Iiii

Fig. 106. nus étant trouvé, il faut multiplier son carré $\frac{b^2}{b^2+s^2}$ par l'étendue de la surface conique projetée sur le plan BED; puisque nous voulons trouver l'expression de l'impulsion dans le sens perpendiculaire à ce plan; c'est-à-dire, qu'il faut multiplier $\frac{b^2}{b^2+s^2}$ par l'excès du demi-cercle BED sur le demi-cercle GIH, ou mettant les carrés des rayons CE & AI à la place des demi-cercles, il faut multiplier $\frac{b^2}{b^2+s^2}$ par $\frac{2as-a^2}{s^2} \times b^2$; on aura $\frac{2ab^4s-a^2b^4}{b^2s^2+s^4}$ pour l'impulsion requise, & l'ajoutant à celle $\frac{s^2+2as+a^2}{s^2} \times b^2$ que reçoit le plan GIH, nous aurons $\frac{a^2b^2+b^4-2ab^2s+b^2s^2}{b^2+s^2}$ pour l'impulsion que souffre la surface entière du tronc du cône.

On trouvera avec aussi peu de peine la solidité de ce tronc & son moment par rapport au métacentre qui est en quelque point de l'axe AC. Si l'on continue à prendre les carrés des rayons au lieu des demi-cercles & si on multiplie chacun de ces carrés encore par le rayon, parce que le centre de gravité de chaque demi-cercle est toujours à une certaine partie de son rayon, & qu'il ne s'agit pas plus ici d'avoir le moment même qu'une quantité qui lui soit toujours proportionnelle, on trouvera $ab^3 - \frac{3a^2b^3}{2s} + \frac{a^3b^3}{s^2} - \frac{a^4b^3}{4s^3}$ pour le moment du solide dont il s'agit; & si nous désignons par M le moment de la poupe, nous aurons $M + ab^3 - \frac{3a^2b^3}{2s} + \frac{a^3b^3}{s^2} - \frac{a^4b^3}{4s^3}$ pour le moment total du Vaisseau ou pour sa stabilité. Il est vrai que nous considérons le poids comme également distribué par tout, ou la carène entière comme homogène: mais il nous seroit difficile de faire autrement, & d'avoir égard à la distribution particulière de la charge, afin de distinguer le centre de gravité de la carène de celui de tout le Vaisseau. C'est par cette raison que nous avons recommandé si sou-

vent, & que nous le faisons encore ici, d'examiner toutes les parties en détail; d'avoir égard à la distribution particulière de la charge, & de voir en mettant tout à l'épreuve du calcul, jusqu'à quel point le Navire possèdera effectivement chaque propriété. Enfin si nous faisons changer l'axe CF du cone entier, le moment changera de même que l'impulsion que reçoit la surface totale du tronc, & pour avoir l'un & l'autre changement, il n'y a qu'à différentier l'une & l'autre expression. La différentielle de l'impulsion $\frac{a \cdot b^3 + b^4 - 2ab^2s + b^2s^2}{b^2 + s^2}$ est $\frac{2ab^2s^2ds - 2a^2b^2sds - 2ab^4ds}{b^2 + s^2^2}$,

& celle du moment $M + ab^3 - \frac{3a^2b^3}{2s} + \frac{a^3b^3}{s^2} - \frac{a^4b^3}{4s^3}$ est $\frac{3a^2b^3ds}{2s^2} - \frac{2a^3b^3ds}{s^3} + \frac{3a^4b^3ds}{4s^4}$.

VII.

Mais on ne doit pas changer l'étendue des voiles dans le même rapport que change le moment de la pesanteur du Vaisseau: car la largeur des voiles doit rester la même tant qu'on ne touche point à la plus grande largeur BD de la carène: on ne peut faire varier que leur hauteur, & on ne doit la faire varier sensiblement que comme la racine quarrée du moment de la pesanteur; parce que comme nous l'avons déjà vu ci-devant, l'étendue des voiles variant selon cette racine quarrée & la hauteur du centre d'effort du vent variant aussi dans la même raison, il se trouve que le moment de l'effort du vent change en même rapport que celui de la pesanteur du Navire; & de cette sorte l'équilibre entre ces deux forces n'est point altéré. Ainsi au lieu de comparer le moment $M + ab^3 - \frac{3a^2b^3}{2s} + \frac{a^3b^3}{s^2} - \frac{a^4b^3}{4s^3}$ à sa différentielle entiere, il ne faut le comparer qu'à la moitié $\frac{3a^2b^3ds}{4s^2} - \frac{a^3b^3ds}{s^3} + \frac{3a^4b^3ds}{8s^4}$, pour avoir le rapport selon lequel doit changer l'étendue des voiles. Il est évident d'un

Iiii ij

Fig. 106. autre côté que pour avoir le tronc du cone le plus avantageux pour former la prouë , nous n'avons qu'à nous arrêter à celui qui, lorsqu'on le change un peu, ou lorsqu'on fait varier la distance s à laquelle iroient se rencontrer les côtés, on ne fait pas plus augmenter la résistance de l'eau qu'on ne peut augmenter l'étendue des voiles. Car alors l'avantage sera le même, ou sa différentielle sera nulle; & par conséquent l'avantage sera un *maximum*. C'est-à-dire que nous n'avons qu'à faire cette analogie $\frac{a^2b^2 + b^4 - 2ab^2s + b^2s^2}{b^2 + s^2}$

$$\left| \frac{2ab^2s^2ds - 2a^2b^2sds - 2ab^4ds}{b^2 + s^2} \right\| M + ab^3 - \frac{3a^2b^3}{2s} + \frac{a^3b^3}{s^2} -$$

$$\frac{a^4b^3}{4s^3} \left| \frac{3a^2b^3ds}{4s^2} - \frac{a^3b^3ds}{s^3} + \frac{3a^4b^3ds}{8s^4} \right\| ; \text{ ou cette autre qui est la}$$

$$\text{même, } a^2 + b^2 - 2as + s^2 \times \frac{b^2 + s^2}{2s^2 - 2as - 2b^2} \left\| M + ab^3 - \frac{3a^2b^3}{2s} + \frac{a^3b^3}{s^2} - \frac{a^4b^3}{4s^3} \right| \frac{3ab^3}{4s^2} - \frac{a^2b^3}{s^3} + \frac{3a^3b^4}{8s^4} ; \& \text{ que}$$

si nous la reduisons en équation, nous n'aurons plus qu'à en tirer la valeur de s , & nous obtiendrons la prouë formée en tronc de cone; non pas celle qui reçoit la moindre impulsion possible de la part de l'eau, ou celle qui rend le Vaisseau plus propre à porter une plus grande quantité de voiles; mais celle qui concilie ensemble, autant qu'il se peut, ces deux divers avantages, & qui est par conséquent préférable à toutes les autres, eu égard à la promptitude de la marche.

VIII.

L'équation dont nous venons de parler ne fait qu'indiquer le tronc de cone le plus avantageux: mais si après avoir cherché la valeur de s pour la base BED & pour la faillie CA , nous la cherchons pour la base bed , & la faillie cA ; ou si nous perfectionnons les troncs des cones de plus en plus, à-peu-près comme nous l'avons fait dans le second article du Chapitre II. nous pourrons regarder s comme la soutagente de la ligne courbe qui doit former le conoïde le plus avantageux, & il ne nous restera donc

plus pour résoudre entièrement le Problème, qu'à avoir recours à la méthode inverse des tangentes; après avoir mis x à la place de a qui marque les parties AC, ou Ac de l'axe; y à la place de b qui marque les ordonnées CD ou Cd, & $\frac{ydx}{dy}$ à la place de s . Supposé qu'on regarde le moment M comme infini, tous les termes de l'équation qui ne seront pas multipliés par M deviendront comme nuls; l'équation se réduira à $2Ms^2 - 2Mas - 2Mb^2 = 0$, ou à $s^2 = as + b^2$, & la revêtissant des expressions variables que nous venons de spécifier, nous la changerons en $\frac{y^2 dx^2}{dy^2} = \frac{xydx}{dy} + y^2$, ou en $ydy^2 = ydx^2 - xdx dy$ qui étant la même que celle que nous avons trouvée dans le Chapitre que nous venons de citer, confirme ce que nous avons dit vers le commencement de celui-ci. Si on veut trouver l'autre conoïde qui sert de limite à la plus grande courbure de la prouë; mais une limite assez éloignée, principalement vers le sommet, il n'y aura qu'à supposer $M = 0$. On trouvera une équation dans laquelle les dx & les dy multipliées ensemble s'élèveront jusqu'à la sixième puissance: mais comme les x & les y s'élèveront aussi conjointement dans tous les termes au même degré, il sera toujours facile, avec un peu de travail, de séparer les variables, & de résoudre l'équation, en employant la quadrature des courbes, supposée connue.

IX.

Dans les cas ordinaires & actuels le moment M ne sera ni infiniment grand ni infiniment petit; & il doit nécessairement contenir une partie constante. Tout ce qu'on peut faire de mieux, ce me semble vû les circonstances, c'est de supposer que M au lieu de désigner le seul moment de la poupe, indique celui du Vaisseau entier; c'est-à-dire celui de la poupe & de la prouë jointes ensemble, ou la stabilité totale. On sera toujours en droit de traiter M comme constante; & alors la proportion établie ci-devant se réduira à $\frac{a^2 + b^2 - 2as + s^2 \times b^2 + s^2}{2s^2 - 2as}$

Fig. 106.

Fig. 106. — $2b^2 \parallel M \mid \frac{3ab^3}{4s^2} - \frac{a^2b^3}{s^3} + \frac{3a^3b^3}{8s^4}$; & on aura l'équation

$$2Ms^2 - 2Mas - 2Mb^2 = \frac{3}{4}a^2b^3s^2 - \frac{1}{2}a^3b^3s + \frac{3}{8}a^4b^3 + \frac{3}{2}a^2b^5 - \frac{7a^3b^5}{2s} - \frac{7a^5b^3}{4s} + \frac{3a^4b^7}{4s^2} + \frac{7a^6b^5}{2s^2} + \frac{3a^6b^3}{8s^2} - \frac{7a^5b^5}{4s^3} - \frac{a^3b^7}{s^3} + \frac{3a^4b^7}{8s^4} + \frac{3a^6b^5}{8s^4}$$

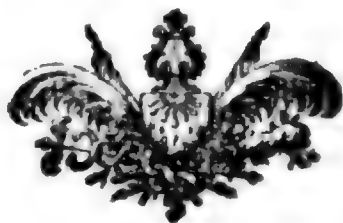
qui se change en $2My^2dx^6 - 2Mxydydx^5 - 2My^2dy^2dx^4 = \frac{3}{4}x^2y^4dx^6 - \frac{1}{2}x^3y^3dydx^5 + \frac{3}{8}xy^2dy^2dx^4 + \frac{3}{2}x^2y^4dy^2dx^4 - \frac{7}{2}x^3y^3dy^3dx^3 - \frac{7}{4}x^5ydy^3dx^3 + \frac{3}{4}x^2y^4dy^4dx^2 + \frac{7}{2}x^4y^2dx^2dy^4 + \frac{3}{8}x^6dy^4dx^2 - \frac{7}{4}x^6ydy^5dx - x^3y^3dy^5dx + \frac{3}{8}x^4y^2dy^6 + \frac{1}{8}x^6dy^6$. Mais on voit assez que c'est là une équation à résoudre par les séries ou par quelque autre espèce d'approximation.

X.

Aussi-tôt qu'on est obligé de prendre ce parti, on sait ce qu'il faut faire, & on est toujours sur du succès. Cependant j'avouerai ingenuement qu'avant de vouloir me livrer à ce travail aussi long que rebutant, j'ai cru qu'il étoit à propos de voir s'il ne m'étoit pas permis de m'en dispenser. Je me suis arrêté à l'équation $2Ms^2 - 2Mas - 2Mb^2 = \frac{3}{4}a^2b^3s^2 - \&c.$ qui n'appartient encore qu'au simple tronc de cone le plus avantageux & qui nous apprend la longueur s des soutangentes de la courbe qui forme le conoïde. J'ai supposé le moment M le moindre que j'ai pû, vû les dimensions que doit avoir le Vaisseau, afin de rendre la courbure de la prouë encore plus considérable ; & malgré cela, si j'ai trouvé comme je le devois, la soutangente s plus grande que dans le conoïde qui éprouve la moindre résistance, j'ai toujours trouvé la différence assez petite, pour qu'on pût n'y avoir que peu d'égard dans la pratique. Ainsi quoi qu'il soit vrai que ce ne soit pas la prouë conoïdale qui éprouve la moindre résistance de la part du milieu, qui fasse singler le Navire avec la plus grande vitesse possible, parce qu'en donnant un peu plus de courbure ou de convexité au conoïde, sa plus grande pesanteur & la plus grande largeur font que le Vaisseau sou-

tient ensuite mieux la voile, & que l'impulsion du vent se trouve plus augmentée à proportion que la résistance de l'eau; il y a cependant si peu de différence entre les deux figures, qu'on ne doit presque jamais faire difficulté de se servir de l'une à la place de l'autre. Fig. 106.

Les Lecteurs sans s'engager dans un calcul trop long, peuvent se convaincre de la vérité de ce que nous avançons ici. Supposé que la demie largeur du Navire soit représentée par 1, pendant que la longueur de la proue le soit par 3; si on cherche par la construction de M. Newton; à quelle distance CF les côtés du tronc de cône, doivent aller se rencontrer pour que le tronc reçoive la moindre impulsion possible, on trouvera que CF est à très-peu près de $3\frac{1}{10}$; & c'est donc là pour le point où l'ordonnée est 1 & l'abscisse 3, la longueur de la soutangente du conoïde que nous regardons comme celui de la moindre résistance. Mais si on fait entrer maintenant la considération du moment M de la pesanteur du Navire & qu'on le suppose $=\frac{1}{2}$, on verra par notre équation que la soutangente s du nouveau conoïde, sera effectivement plus grande que $3\frac{1}{10}$, mais qu'elle sera considérablement moindre que $3\frac{1}{2}$. Il sera facile d'en déterminer la juste valeur, & d'en chercher d'autres, si on le veut, pour d'autres suppositions d'abscisses & d'ordonnées.



CHAPITRE VI.

Détermination de la figure de la prouë de la plus grande vitesse, lors qu'elle est terminée par un simple trait horisontal.

I.

Fig. 118.

INDÉPENDAMMENT des tentatives que nous venons de nous permettre, il n'est pas difficile de résoudre dans toute sa complication, le Problème qui nous occupe. Cependant nous nous contenterons d'insister sur le cas le plus simple, en suposant que la prouë BAB (Fig. 118.) est terminée par un seul trait horisontal dont les deux parties AB, AB sont parfaitement égales de part & d'autre de l'axe AC; ou si on veut que cette prouë soit terminée par une surface, nous suposerons que c'est par une surface verticale de même hauteur élevée perpendiculairement sur le plan de la courbe BAB. La figure qui fend l'eau avec le plus de facilité étant dans ce cas particulier terminée par deux lignes droites ou deux plans AB, AB qui font un angle en A, nous jugerons plus aisément de l'effet que produira la condition que nous ajoutons actuellement; puisqu'il faudra lui attribuer toute la courbure que prendront les deux côtés. Nommant x les parties variables AE, AG de l'axe AC, & y les ordonnées correspondantes ED & GF, &c. on aura dx pour les parties infiniment petites de l'axe, & dy pour les différentielles des ordonnées; & si un fluide vient rencontrer la courbe parallèlement à l'axe, l'impulsion directe sur la petite partie DH ou HF de la courbe, sera exprimée par $\frac{dy^3}{dy^2 + dx}$ conformément à ce que nous avons vû dans le Chapitre IV. de la premiere Section; avec cette seule différence que nous suposions alors que le sinus total étoit désigné par n , au lieu que nous le représentons

representons actuellement par l'unité. L'expression $\frac{dy^3}{dy^2 + dx^2}$ Fig. 118.

convient à l'une ou à l'autre petite partie, selon que dx & dy représentent DI & IH, ou HL & LF : & si nous supposons que les deux petits côtés DH & HF changent de situation, & prennent la disposition DhF, en faisant changer dx de la petite quantité $Hh = ddx$, & en rendant les dy , HI, ou LF invariables; l'impulsion sur une des petites parties de la courbe deviendra plus grande, en même tems qu'elle deviendra plus petite sur l'autre; & le changement sur chacune sera designé par $\frac{2dy^3 dx ddx}{dy^2 + dx^2}$ qui se trouve en

différentiant $\frac{dy^3}{dy^2 + dx^2}$. Mais puisqu'un de ces changemens se fait en plus, & l'autre est moins, le changement total que souffre l'impulsion à laquelle sont sujettes les deux parties DH, HF conjointement, sera représenté par $\frac{2dy^3 dx ddx}{dy^2 + dx^2} - \frac{2dy^3 dx ddx}{dy^2 + dx^2}$, expression dans l'un des termes de laquelle la différentielle dx désigne DI, pendant que dans l'autre elle désigne HL.

II.

En même tems que ce changement se fera dans l'impulsion, il s'en fera un aussi dans le moment de la pesanteur de la carène ou dans la force qu'a le Navire pour porter la voile. Ce moment que nous nommerons M , comme dans le Chapitre précédent, est le produit de la pesanteur totale p du Navire par la quantité dont son centre de gravité, que nous confondons ici toujours avec le centre de gravité de la carène, est au-dessous du métacentre; & sera donc $= \frac{2}{3} \int y^3 dx$. Cela supposé, si nous prolongeons les ordonnées ED, KH, &c. jusqu'aux points M, N, &c. de maniere que les lignes EM, KN, &c. représentent les cubes des ordonnées, nous formerons une nouvelle courbe AMP, dont les aires comme AEM,
Kkkk

Fig. 118.

AGP, &c. représenteront les intégrales $\int y^3 dx$, & il suffira par conséquent de prendre les deux tiers de ces aires, pour avoir les momens particuliers des différentes portions correspondantes du Navire, lesquels forment tous ensemble le moment ou la stabilité M. Mais lorsqu'on change la disposition des deux petits côtés DH, HF de la prouë & qu'on les place en D/hF, la courbe AP des momens change aussi de disposition; & les petits côtés MN, NP se plaçant en M_nP, le moment de la pesanteur du Vaisseau augmente, non pas des deux petits triangles MN_n, NP_n, mais des deux tiers de leur aire; puisque ce ne sont que les deux tiers de l'aire entière que renferme la courbe AMP, qui représentent le moment total. L'étendue des deux petits triangles est égale à $3y^2 dy \times ddx$ produit de $Nn = ddx$ qui leur sert de base, par la hauteur NO ou PQ, qui est égale à $3y^2 dy$. Ainsi lorsqu'on change la disposition des deux petits côtés DH, HF de la prouë, le moment total M de la pesanteur du Navire augmente de la petite quantité $2y^2 dy ddx$, qui est les deux tiers de l'étendue $3y^2 dy ddx$ des deux petits triangles NM_n, NP_n; & ce changement se fait en même tems que celui $\frac{2dy^3 dx ddx}{dy^2 + dx^2} - \frac{2dy^3 dx ddx}{dy^2 + dx^2}$ sur

l'impulsion totale que souffre la prouë. Il faut après cela faire attention que le premier de ces changemens n'influe pas immédiatement sur le sillage comme le second; puisque la petite étendue qu'on peut donner de plus à la surface des voiles en conséquence de la plus grande force qu'a le Navire pour soutenir l'effort du vent, ne repond pas au changement $2y^2 dy ddx$ de la stabilité M, mais seulement à sa moitié $y^2 dy ddx$, comme nous l'avons marqué dans l'autre Chapitre. Or il suit de là que les deux différentes dispositions ou DHF ou D/hF des deux petits côtés consécutifs DH, & HF de la courbe, seront parfaitement équivalentes, aussi-tôt que le raport de $\frac{2dy^3 dx ddx}{dy^2 + dx^2} - \frac{2dy^3 dx ddx}{dy^2 + dx^2}$ à

l'impulsion totale de l'eau sur la prouë que nous nomme-

rons I, sera exactement le même que celui de $y^2 dy ddx$ au moment total M. Il n'importe en effet que dans la seconde disposition D/hF, l'impulsion ou la résistance I de l'eau soit plus grande de la petite quantité $\frac{2dy^3 dx ddx}{dy^2 + dx^2} - \&c.$

Fig. 118.

puisque l'effet qu'elle pourra produire sur le sillage, sera détruit sur le champ par la plus grande quantité de voiles que pourra porter le Navire, laquelle sera augmentée dans le rapport de M à $y^2 dy ddx$. Mais lorsque les deux dispositions DHF & D/hF sont équivalentes, ou que l'une n'a aucun avantage sur l'autre, la différentielle de l'avantage est alors nulle, & on a par conséquent atteint le terme du *maximum* qu'on se proposoit d'obtenir.

III.

Ainsi tout consiste à introduire dans tout le cours de la courbe cette proportion; $M \mid y^2 dy ddx \mid \mid I \mid \frac{2dy^3 dx ddx}{dy^2 + dx^2}$
 $- \frac{2dy^3 dx ddx}{dy^2 + dx^2}$, ou à rendre $\frac{2dy^3 dx ddx}{dy^2 + dx^2} - \frac{2dy^3 dx ddx}{dy^2 + dx^2}$ con-
 tinuellement égale à $\frac{Iy^2 dy ddx}{M}$; ou ce qui revient au même,
 à faire $\frac{2dy^3 dx}{dy^2 + dx^2} - \frac{2dy^3 dx}{dy^2 + dx^2} = \frac{Iy^2 dy}{M}$; car ddx est exac-
 tement la même dans les deux quantités. Pour le dire en-
 core en d'autres termes, il faut que $\frac{2dy^3 dx}{dy^2 + dx^2}$ qui appar-
 tient à chaque petit côté de la courbe, surpasse toujours la
 quantité $\frac{2dy^3 dx}{dy^2 + dx^2}$ qui appartient au petit côté suivant,
 d'une quantité $\frac{Iy^2 dy}{M}$. Mais cet excès des quantités $\frac{2dy^3 dx}{dy^2 + dx^2}$
 les unes sur les autres, est à proprement parler leur diffé-
 rentielle; & puisque la différentielle de $\frac{2dy^3 dx}{dy^2 + dx^2}$ doit être

K k k k ij

Fig. 118. égale dans tous les points de la courbe à $\frac{Iy^2 dy}{M}$, il faut que cette quantité même $\frac{2dy^3 dx}{dy^2 + dx^2}$ soit continuellement égale à $\frac{Iy^3}{3M}$ qui est l'intégrale de $\frac{Iy^2 dy}{M}$, ou à $c - \frac{Iy^3}{3M}$, lorsque c est une quantité indéterminée constante. C'est-à-dire donc, que nous aurons $\frac{2dy^3 dx}{dy^2 + dx^2} = \frac{Iy^3}{3M}$, ou $\frac{2dy^3 dx}{dy^2 + dx^2} = c - \frac{Iy^3}{3M}$ pour l'équation constitutive du Problème, ou pour l'équation en premières différences de la courbe qui a la propriété avec ses diverses parties, de recevoir la moindre impulsion possible de la part du milieu dans lequel elle se meut, & de donner en même tems le plus de force au Navire pour porter la voile. La quantité $\frac{2dy^3 dx}{dy^2 + dx^2}$ va en augmentant, lorsque dx étant d'abord nulle, croît jusqu'à parvenir à une certaine grandeur : c'est pourquoi on peut supposer $\frac{2dy^3 dx}{dy^2 + dx^2} = \frac{Iy^3}{3M}$, ce qui donne une courbe, qui partant de son sommet A perpendiculairement à l'axe, devient ensuite oblique, mais n'a qu'un cours très-limité. Mais lors qu'on fait croître davantage dx , la quantité $\frac{2dy^3 dx}{dy^2 + dx^2}$, qui étoit à son *maximum*, va en diminuant, & c'est alors qu'on a l'équation $\frac{2dy^3 dx}{dy^2 + dx^2} = c - \frac{I}{3M} y^3$ à laquelle nous nous arrêtons.

IV.

Il n'est donc plus question que de résoudre cette équation $\frac{2dy^3 dx}{dy^2 + dx^2} = c - \frac{Iy^3}{3M}$; & nous y réussirons en employant l'expédient auquel nous avons déjà eu recours plusieurs

fois. Prenant une quantité constante a , & une nouvelle Fig. 118.

variable z qui soit telle que $dx = \frac{zdy}{a}$, nous introduirons

cette valeur de dx dans l'équation ; ce qui nous la chan-

gera en $\frac{2zdy^4}{a} = cdy^4 \times 1 + \frac{z^2}{a^2} - \frac{1y^3}{3M} \times 1 + \frac{z^2}{a^2}$, dont on ti-

re déjà $\frac{1}{3M} \times y^3 = c - \frac{2a^3z}{a^2 + z^2}$, & $y = \sqrt[3]{\frac{3M}{1} \times c - \frac{2a^3z}{a^2 + z^2}}$. Je

différentie cette dernière équation, & j'ai $dy = \sqrt[3]{\frac{3M}{1}}$

$\times \frac{2a^3z^2dz - \frac{2}{3}a^3dz}{a^2 + z^2 \times c \times a^2 + z^2 - 2a^3z}$ qui m'apprend, lorsque je suppose

$\frac{2a^3z^2dz - \frac{2}{3}a^3dz}{a^2 + z^2 \times c \times a^2 + z^2 - 2a^3z} = 0$, qu'on a la moindre valeur

de y , aussi-tôt que $3z^2 = a^2$ ou que $z = a\sqrt{\frac{1}{3}}$; & c'est pré-

cisément dans cette circonstance que la quantité $\frac{2dy^3dx}{dy^2 + dx^2}$

est un *maximum*. Mais enfin, introduisant la valeur de dy

dans $dx = \frac{zdy}{a}$, il vient $dx = \sqrt[3]{\frac{3M}{1}} \times \frac{2a^3z^2dz - \frac{2}{3}a^3dz}{a^2 + z^2 \times c \times a^2 + z^2 - 2a^3z}$.

Ainsi nous avons la relation de y & de x à une troisième grandeur z , & le Problème est entièrement résolu.

V.

On trouvera dans la Table ci-jointe, non-seulement les dimensions de la courbe entière ARB, mais aussi celle de trois courbes partiales comme RB (Fig. 119.) qui au lieu de commencer au point A où $z = a\sqrt{\frac{1}{3}}$, commencent dans le point R où z est égale ou à $2a$, ou à $3a$, ou à $4a$. Ces courbes partiales sont distinctes de la totale ou en sont d'autres espèces : car elles ne sont pas semblables aux parties de la totale ; & la propriété qu'elles ont ne subsiste aussi que par rapport à leur axe particulier RS. On se servira de ces courbes partiales lorsqu'on voudra rendre la

Fig. 118.
& 119.

prouë plus aiguë; car la premiere courbe AB forme avec son axe en A un angle de 60 degrés; ce qui rend de 120 degrés l'angle de l'extrémité de la prouë, & outre cela elle renferme un espace qui est très-large par raport à sa longueur; puisque sa plus grande ordonnée BC est à sa plus grande abscisse AC à peu près comme 866 est à 1014. J'ai calculé les dimensions de toutes ces courbes en 1000^m parties de l'unité, après avoir supposé $a = 1$; & j'ai joint aussi les valeurs des intégrales $\int \frac{dy^3}{dy^2 + dx^2}$ & $\frac{2}{3} \int y^3 dx$, la premiere desquelles marque l'impulsion I à laquelle chaque partie sensible de la courbe est sujette à commencer aux points A ou R qui leur servent de sommet, & la seconde marque le moment ou la stabilité particulière dont est capable en même tems l'espace ou la solidité de la carène qui répond à cette partie. Ce sont ces quantités, comme nous le montrerons plus bas, qui avec la longueur & la plus grande largeur qu'on veut donner à la prouë, reglent le choix qu'on doit faire ou entre les lignes courbes, ou entre leurs diverses parties; leur propriété étant principalement attachée au raport qu'il y a entre M & I.

Ces lignes courbes au surplus peuvent non-seulement servir à former les deux flancs de la prouë, lorsque la base qu'il s'agit de garantir du choc est un rectangle; mais aussi lorsque cette base a plusieurs autres formes; lorsqu'elle sera faite, par exemple, en trapeze, comme nous avons trouvé qu'elle devoit l'être. Au lieu que les deux flancs ABVO & EDVP de la figure 115 étoient formés par des plans, lorsque nous voulions donner à la prouë une des figures qui éprouvent le moins de résistance de la part de l'eau, il faudroit leur faire imiter dans leur courbure une de nos lignes courbes, & on fermeroit l'ouverture triangulaire OVP en la couvrant d'un espece de conoïde OVZP dont il est aisé de trouver la figure. La méthode que nous venons de suivre, laquelle seroit propre à résoudre des difficultés incomparablement plus grandes,

donne la formule $y = \sqrt{\frac{6M}{I} \times \frac{a^3 z}{a^2 + z^2}}$ pour les ordonnées Fig. 118; & 119.

du conoïde dont il s'agit, & $x = \sqrt{\frac{6M}{I} \int \frac{a^{\frac{1}{2}} z^{\frac{1}{2}} dz - \frac{1}{2} a^{\frac{1}{2}} z^{\frac{3}{2}} dz}{a^2 + z^2}}$

pour les abscisses ou parties de l'axe à commencer au sommet Z. Ce n'est pas sans raison que nous parlons avantageusement de la méthode que nous venons d'employer : elle donnera sans peine la solution de la plupart de ces Problèmes fameux qui ont si fort occupé les Mathématiciens sur les isopérimètres, & sur d'autres sujets où il s'agissoit de *maximum* ou de *minimum* qu'on compliquoit avec d'autres conditions.

T A B L E

Des dimensions des prouës curvilignes de la plus grande vitesse.

Première Figure.				Seconde Figure.				Troisième Figure.				Quatrième Figure.			
Abciss. ou parties de l'axe.	Ordonn. ou demies larg.	Impulsions.	Momens ou stabilités.	Abciss. ou parties de l'axe.	Ordonn. ou demies larg.	Impulsions.	Momens ou stabilités.	Abciss. ou parties de l'axe.	Ordonn. ou demies larg.	Impulsions.	Momens ou stabilités.	Abciss. ou parties de l'axe.	Ordonn. ou demies larg.	Impulsions.	Momens ou stabilités.
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
116	203	146	0	356	169	31	0	200	65	7	0	125	31	2	0
399	531	333	9	712	335	61	4	400	129	13	0	250	62	4	0
627	714	406	46	871	402	71	10	703	225	23	1	500	122	7	0
758	788	425	83	1042	464	78	19	861	272	27	3	671	163	9	$\frac{1}{2}$
884	838	432	128	1136	493	81	26	1035	318	30	6	817	198	10	1
936	853	433	149	1200	510	82	31	1100	338	31	8	900	214	11	2
963	859	433	182	1272	526	84	38	1205	356	32	10	999	234	12	2
977	862	433	188	1310	533	84	42	1288	371	32	13	1174	266	14	4
987	863	433	193	1330	536	84	44	1333	379	33	14	1167	281	14	5
1001	865	433	199	1365	541	84	47	1401	387	33	17	1380	295	14	7
1014	866	433	204	1399	543	84	51	1466	391	33	19	1490	302	14	9

On doit enfin remarquer que puisque le rapport $\sqrt[3]{\frac{3M}{I}}$ multiplie également la valeur des abscisses & des ordon-

Fig. 118.
& 119.

nées de nos lignes courbes , il doit les faire augmenter ou diminuer , selon qu'il est plus ou moins grand ; & qu'il sert par conséquent comme de parametre. Mais si les lignes courbes sont tracées dans la supposition de $\sqrt[3]{\frac{M}{I}} = 1$, supposition pour laquelle on a construit la Table , on aura $3M = I$ ou $M = \frac{1}{3}I$; ce qui nous apprend que le moment non pas particulier de la prouë , mais le moment total M de la pesanteur du Navire , doit être égal au tiers de l'impulsion I ; & après cela il est très-facile de distinguer les diverses parties des courbes qu'on doit employer. Comme nous n'avons restreint le moment total M à aucune grandeur particuliere , nous avons donné au Problème une généralité dont il ne jouit pas réellement ; & cela est cause que les courbes prises dans toute leur étendue ne sont pas applicables aux cas ordinaires & actuels. Elles ne servent dans toute leur longueur , ou ce qui revient au même , on ne doit donner toute leur courbure aux flancs de la prouë , que lorsque le moment total M du Vaisseau est très-petit & dans la supposition impossible qu'il est moindre que le moment particulier de la prouë : l'impulsion , par exemple , que souffre la premiere courbe entiere , étant exprimée par 433 , le moment total M de la pesanteur du Navire le doit être par $144\frac{1}{3}$; au lieu que le moment particulier de la prouë seule est 204. Mais si on employe les seules parties comme AR (Fig. 118.) ou RT (Fig. 119.) le moment particulier de la prouë qui diminue beaucoup plus subitement que l'impulsion , se trouvera bien-tôt très-petit par raport à cette impulsion ; & il n'impliquera plus contradiction que le moment M de la pesanteur totale en soit le tiers. C'est sans doute un cas trop extrême pour qu'il soit jamais admis , que le Vaisseau soit réduit à la seule partie antérieure de sa carène sans avoir de poupe. Alors les momens marqués dans la Table seroient les stabilités mêmes M du Navire ; & on reconnoîtroit donc la partie des lignes courbes qu'il faudroit employer , en choisissant celles pour lesquelles ce moment est le tiers de l'impulsion.

pulsion. Telle est à peu près la partie de la première courbe qui a 936 pour abscisses & 853 pour ordonnée; telle est aussi à peu près la partie de la seconde courbe qui a 1136 pour abscisse & 493 pour ordonnée, &c. Les deux flancs se trouveroient déjà n'avoir que très-peu de courbure, & l'arrête dont nous avons parlé plusieurs fois qui doit distinguer la proue de la poupe & qui paroïssoit comme détruite par la partie des lignes courbes qui est parallèle en B à l'axe, commenceroit à se reproduire en R ou en T. Mais qu'on considère les Vaisseaux dans leur état actuel, le moment total M du Navire RTXT (Fig. 119.) fera au moins double de celui de la proue; & puisque ce moment total ne doit être toujours que le tiers de l'impulsion I, le moment particulier de la proue que marque la Table, n'en fera au plus que la sixième partie. Ainsi il faudra prendre pour modèle de la partie antérieure de la carène, des portions beaucoup plus petites RT de nos lignes courbes, & qui approcheront encore plus d'être droites. Ce n'est guères que dans la dernière courbe de la Table qu'on peut chercher ces modèles; parce que les autres rendroient la proue trop obtuse; on peut emprunter par exemple la partie qui a son abscisse RV de 999 & sa plus grande demi largeur VT de 234. Mais il est certain que si les flancs conservent encore après cela quelque courbure, on sera très en droit de la négliger: car elle ne sera pas de la cent cinquantième partie de la longueur des côtés RT. Nouvelle confirmation que la figure de la proue *de la plus grande vitesse*, ne diffère toujours que très-peu de la figure *de la moindre résistance*.

Fig. 118.
& 119.

VII.

C'est ce qui résulte de la solution géométrique du Problème & ce qui se concilie avec le physique sur lequel nous avons insisté dans le Chapitre précédent, que plus la pesanteur totale du Vaisseau est grande par rapport à celle de la partie antérieure de la carène, moins il y a d'effet à atten-

LIII

dre sur la force du Navire pour porter la voile, lorsqu'on fait quelque léger renflement à cette partie, & qu'il y a donc moins d'utilité à alterer la figure qui fend l'eau avec le plus de facilité. Le renflement de la carène par l'avant, quoique léger, fait augmenter la résistance & nuit immédiatement à la promptitude du sillage: au lieu que si l'augmentation produite en même tems dans la solidité, est considérable par rapport à la prouë, elle l'est environ deux fois moins par rapport à tout le Navire; & il n'est outre cela encore permis d'augmenter la hauteur des voiles que d'une quantité deux fois plus petite à proportion que n'a augmenté la stabilité. Ainsi il n'est pas étonnant que la convexité des deux flancs aide moins au sillage par ce second chef qu'elle n'y nuit par l'autre, & c'est par cette raison qu'on peut toujours dans la pratique donner à la prouë la figure qui fend l'eau avec le plus de facilité. Au reste nous devons nous applaudir de n'être point obligés de renoncer à cette dernière figure. Il est vrai qu'il n'y auroit rien à perdre du côté du sillage, & ce seroit tout le contraire si on se servoit de l'autre, & que la différence fut considérable; mais il y auroit une vraie perte, & qui seroit irréparable sur la propriété que doit avoir le Vaisseau de *pincer* le vent. On se souvient que l'impulsion latérale, selon le sens perpendiculaire à la quille, devient nécessairement plus petite aussi-tôt que l'impulsion dans le sens direct est plus grande; or le Navire moins soutenu contre l'effort du vent dans les routes obliques dériveroit alors davantage*. Qu'on donne au contraire à la prouë la figure qui reçoit la moindre impulsion de la part de l'eau dans le sens de l'axe, l'impulsion relative, selon la détermination latérale, deviendra un *plus grand* dans les routes obliques; une propriété apporte nécessairement l'autre comme nous l'avons montré, & la dérive deviendra un *minimum*.

* Voyez
la fin du
Chap. 8. de
la 1re. Sec.
tion de ce
3e. Livre.

Tout nous invite donc à préférer cette première forme dans l'Architecture navale; non pas précisément parce qu'elle est la figure de la *moindre résistance*, puisque cette propriété est absolument inutile, aussi-tôt qu'elle ne procure

pas par elle-même la promptitude de la navigation; mais parce qu'elle est la figure *de la moindre dérive*. Nous serons ensuite sûrs que le Navire suivra le plus qu'il sera possible dans son mouvement la direction de son axe, sans que cette bonne qualité que nous eussions achetée volontiers par la perte d'une partie considérable de la promptitude du sillage, cause quelque préjudice sensible aux autres avantages essentiels qu'on se propose dans la Marine. Nous ne devons pas dissimuler que cette figure nous jette dans quelque inconvenient: elle ne nous donne pas toujours assez de champ pour disposer avec commodité les voiles dans les routes obliques; parce qu'elle peut nous obliger de mettre ces voiles à trop peu de distance de l'extrémité de la prouë; ce qui sera cause qu'on ne pourra quelquefois profiter que difficilement de toute la force qu'a le Navire pour les soutenir. On ne doit cependant pas juger de la difficulté par la forme étroite que prend ici la prouë: car il n'est toujours question dans les Recherches présentes que de la seule figure de la partie qui entre dans l'eau; & rien n'empêche d'élargir considérablement la partie qui est hors de l'eau, pourvu qu'on soit attentif à en diminuer le poids, en même tems qu'on diminue le plus qu'il est possible la surface qu'elle offre au vent.

Il nous reste pour ne rien laisser d'indécis dans la construction des Navires destinés à bien marcher, de marquer la figure de la poupe. Si cette dernière partie ne contribue pas tant que celle de l'avant à la rapidité du sillage, il est cependant certain qu'elle y contribue. C'est pourquoi nous ne pouvons pas nous dispenser de l'examiner avec quelque soin, quoi qu'il ne soit pas nécessaire de nous livrer à une discussion aussi longue que la précédente.



C H A P I T R E V I I .

De la figure qu'il faut donner à toute la partie postérieure de la carène lorsqu'elle est terminée par un simple trait horizontal , & de la maniere de s'en servir pour former des Frégates.

I.

S'IL ne s'agissoit lorsqu'on forme la poupe que de travailler à augmenter la facilité que doit avoir l'eau à venir frapper le gouvernail , on ne feroit point assujetti à donner à la carène du côté de l'arriere une forme trop précise ; car elles seroient presque toutes également bonnes. Mais à mesure que le Navire quitte une place , l'eau qui est derriere & qui est pressée par le poids de toute celle qui est au-dessus , tend en exerçant son ressort , à passer dans cette place ; & si en donnant une certaine figure à la poupe , on peut faire en sorte que l'eau ait plus de disposition , pour suivre ce mouvement ou cette tendance , il n'y a point de doute qu'on ne doive la préférer. L'eau en venant occuper avec vitesse le vuide que le Navire laisse derriere lui , peut s'y rendre avec assez de promptitude pour choquer la poupe ; & si ce choc ne contribue pas extrêmement à faire augmenter la rapidité du sillage , il sert au moins toujours à détruire une partie de la résistance que souffre l'avant du Navire par la rencontre de l'eau.

La poussée de l'eau , cette force dont nous nous sommes occupés si long-tems dans le Livre précédent , ne travaille pas plus à faire avancer le Vaisseau d'un côté que de l'autre , de l'avant que de l'arriere , pourvu que le Vaisseau soit de lui-même dans un parfait repos. Mais ce ne doit plus être la même chose aussi-tôt que le Navire se meut ; la poussée cesse en partie du côté de l'arriere , puisque le

Navire en fuyant, pour ainsi dire, se soustrait à l'action de l'eau qui s'appuyoit contre sa poupe, au lieu que c'est tout le contraire du côté de l'avant; car la poussée de l'eau à laquelle est sujette la partie antérieure, doit se joindre au choc même de l'eau, qui naît du mouvement du sillage. Il est donc évident que si on ne veut pas regarder toute la poussée de l'eau du côté de la prouë comme un obstacle à la vitesse du Navire, il faut faire en sorte que l'action de l'eau sur la poupe soit un *maximum*, afin qu'elle tienne lieu le plus qu'il se pourra de la poussée même qu'éprouvoit la poupe, lorsque le Navire étoit dans un parfait repos. Il seroit facile de se jeter ici dans une Physique très-contestable: le sujet est tel qu'il demanderoit, comme on l'a dit au commencement de ce troisième Livre, à être éclairci par des expériences faites avec autant d'adresse que de soin; afin de décomposer, pour ainsi dire, la difficulté & d'examiner chaque circonstance à part. Cependant on peut assurer que si la carène étoit terminée par un seul trait horizontal, il suffiroit toujours de la former du côté de la poupe par des lignes droites; & cela indépendamment de la loi selon laquelle se fait l'action de l'eau.

II.

Il est facile de reconnoître cette propriété de la ligne droite qui reparoit encore ici, & qui peut donc servir à former la poupe, comme on a vu ci-devant qu'elle pouvoit former la prouë. C'est ce qu'on va découvrir par une suite de reflexions qui peuvent servir dans une infinité d'autres rencontres, & par le moyen desquelles on résoudra quelquefois sans peine & d'une première vuë plusieurs Problèmes qui paroïtroient d'ailleurs très-difficiles. Imaginons-nous que TXT (Fig. 119.) est la poupe dont VX est l'axe, & X l'extrémité, & représentons par la parallèle Yy à l'axe la vitesse du Navire, ou celle avec laquelle la poupe en avançant de *x* vers X, & de *y* vers Y &c. se soustrait à l'action de l'eau qui est derriere.

Fig. 119.

Fig. 119.

On voit assez qu'il se fait une décomposition de cette vitesse; & si on forme par des paralleles & des perpendiculaires à la partie Yd du circuit de la poupe, le rectangle $ZYWy$ qui ait la vitesse absolue Yy pour diagonale, il est clair que quoique la poupe se meuve de la quantité xX ou yY , la petite partie Yd n'évite l'action de l'eau qu'avec la seule partie de vitesse YZ ou Wy , qui est plus ou moins grande selon que la partie Yd est située plus ou moins obliquement. Tous les points de la poupe qui passe de txy en TXY , parcourent des lignes paralleles xX , yY &c. mais l'eau comprimée avec force dans tous les sens, chargée qu'elle est par le poids de celle qui est au-dessus, doit, pour aller remplir le vuide de $TixiTX$, avancer tout-à-coup du côté que la compression cesse ou diminue. Ainsi elle ne doit pas avancer selon yY pour aller frapper la poupe en Y , mais selon ZY ; & pour sçavoir par conséquent la vitesse relative avec laquelle se fait le choc, il suffit de retrancher de la vitesse absolue que la compression procure à l'eau, la partie ZY que le sillage rend inutile. La situation oblique de la partie Yd est de cette sorte extrêmement avantageuse; elle est cause que la rapidité de la marche ne fait pas diminuer d'une si grande quantité la vitesse avec laquelle l'eau vient choquer la poupe: au lieu que si la partie Yd étoit placée en $Y\Delta$, ou que la poupe fut terminée par une droite perpendiculaire à l'axe VX , toute la vitesse yY du Navire seroit à retrancher de celle de l'eau, qu'elle absorberoit, peut-être, entière; & il arriveroit que l'eau ne choquant du tout point la poupe, n'aideroit en rien.

Puisque le triangle YWY est semblable au petit $Y\Delta d$, on peut faire cette proportion, $Yd | Y\Delta || yY | Wy$; & si on nomme b la vitesse yY du Navire, on aura par conséquent $\frac{Y\Delta}{Yd} \times b$ pour la vitesse partielle Wy qu'il faut soustraire de la vitesse absolue de l'eau. A l'égard de cette autre vitesse, elle dépend de la compression que cause le poids de l'eau supérieure; elle doit être la même pour toutes les molé-

cules qui sont à une égale profondeur, & on peut donc l'exprimer par une constante c dans le cas que nous examinons actuellement. C'est-à-dire, que la vitesse relative avec laquelle l'eau frappe la petite partie Yd est exprimée

par $c - \frac{Y\Delta}{Yd} \times b$, qui n'est dépendante, comme on le voit, que des quantités constantes c & b , & de la seule disposition de la petite ligne Yd . Ainsi qu'on s'arrête à cette vitesse, ou qu'on en prenne le carré ou le cube, ou une fonction quelconque, & qu'on multiplie ensuite par $Y\Delta$ pour avoir la force de l'impulsion relative qui s'exerce dans le sens parallèle à l'axe, contribué à la rapidité du sillage, en poussant le Navire vers l'avant, il ne resultera toujours qu'une quantité formée des constantes c & b , & des petites lignes élémentaires Yd & $Y\Delta$.

L'impulsion sera exactement la même, quoi qu'on éloigne ou qu'on rapproche la petite partie Yd de l'axe VX , & quoi qu'on fasse la même chose à l'égard du sommet X : de sorte que les abscisses x & les ordonnées y ne sont ici d'aucune considération; il n'y a que les seules dx & dy qui modifient actuellement la grandeur de l'effort. Or ce sera la même chose, lorsqu'on considérera une autre partie voisine de Yd ; & il est donc clair, que si on prend la différentielle de l'impulsion qu'elles reçoivent conjointement, afin d'en faire un *maximum*, on n'aura toujours qu'une quantité formée des deux constantes c & b & des petites lignes élémentaires dx & dy , élevées, il n'importe, à quelle puissance, sans le concours d'aucune variable x ou y . Mais il suit de là, que la différentielle égalée à zéro, nous offrira une équation dans laquelle les dx & les dy n'auront toujours entr'elles qu'un rapport déterminé & invariable. C'est-à-dire, que les dy ou les petites lignes $Y\Delta$ étant constantes, les dx ou les Δd le seront également. Les deux lignes TX ont par conséquent dans toutes leurs parties ou dans tout leur cours la même obliquité par rapport à l'axe VX ; & elles sont donc droites, sans que les diverses loix que les fluides peuvent observer dans leur action, y apportent aucune différence.

Fig. 119.

III.

Fig. 101.
& 102.

Mais quoique les deux côtés de la poupe doivent être toujours des lignes droites, ce n'est pas à dire pour cela qu'elles doivent se rencontrer en X, & y former un angle: car il peut arriver ici à peu près la même chose que pour la prouë, lorsqu'elle est formée de lignes droites, dont les deux côtés, comme nous l'avons vû dans le premier Chapitre, ne se rencontrent pas toujours. Suposons que la poupe soit représentée par $BEeb$ dans la figure 101 ou dans la figure 102: ses deux côtés qui doivent être des lignes droites, comme nous le sçavons maintenant, sont représentés par BE & be ; & pendant qu'elle a AC pour longueur totale ou pour axe, elle est terminée par une troisième ligne Ee perpendiculaire. Il s'agit de décider, si on doit augmenter ou diminuer cette largeur Ee , ou si on doit la reduire à rien, en rendant la poupe parfaitement aiguë.

J'exprime par la ligne DB la vitesse absoluë du Navire que nous avons désignée ci-devant par b , & je remarque que la perpendiculaire DF au côté BE de la poupe, sera la partie qu'il faudra retrancher de la vitesse absoluë c avec laquelle l'eau vient rencontrer ce côté. Or si on nomme a la plus grande demie largeur CD , & s la quantité DE , dont la poupe, ou plutôt la demie poupe est plus étroite à l'extrémité, on aura cette analogie $BE (= \sqrt{b^2 + s^2}) | DE (=s) | DB (=b) | DF = \frac{bs}{\sqrt{b^2 + s^2}}$, & si on retranche

DF de la vitesse absoluë c de l'eau, il viendra $c - \frac{bs}{\sqrt{b^2 + s^2}}$

pour la vitesse avec laquelle elle rencontre effectivement le flanc BE . On employera, selon le système qu'on voudra embrasser, ou le quarré de cette vitesse, ou cette vitesse même, ainsi que nous l'allons faire; & si au lieu de multiplier par BE , ce qui donneroit l'impulsion absoluë selon la perpendiculaire à ce côté, on ne multiplie que par $DE = s$, on aura l'impulsion relative, qui agissant dans le sens de

de l'axe, pousse le Navire vers l'avant. Cette impulsion est Fig. 101.
& 102.

$cs - \frac{bs^2}{\sqrt{b^2 + s^2}}$ qu'il faut augmenter de celle que souffre EC, afin d'avoir l'impulsion totale que souffre la moitié entière de la poupe. Il ne se fait, à l'égard de cette seconde partie, aucune décomposition; l'eau avance avec la vitesse absolue c , & le Navire fuit avec la vitesse absolue b ; l'excès $c - b$ marque la vitesse avec laquelle l'eau frappe le côté EC dont la longueur est $a - s$; & par conséquent l'impulsion est $\frac{c - b}{2} \times a - s$. Ajoutant enfin cette quantité avec l'autre, il vient $ac - ab + bs - \frac{bs^2}{\sqrt{b^2 + s^2}}$ pour l'impulsion totale dans le sens de l'axe, laquelle il n'est plus question que de rendre un *maximum*.

La différentielle de cette impulsion est $bds - \frac{2bsds}{\sqrt{b^2 + s^2}} + \frac{bs^3ds}{b^2 + s^2}$; & si on l'égalé à zéro & qu'on fasse les reduc-

tions nécessaires, on aura $2b^2s + s^3 = \overline{b^2 + s^2}^{\frac{3}{2}}$, & $s^4 + b^2s^2 = b^4$ dont on tire $s = b\sqrt{-\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{5}{4}}}$; ce qui montre que s ou DE ne dépend point de la largeur de la poupe, mais seulement de sa longueur BD. Suposant cette dernière longueur de 1000 parties, on trouvera que DE est d'environ 786, ce qui rend l'angle DBE d'environ 38 degrés 10', & l'angle que doivent faire les deux côtés BE, be , doit donc être d'environ 76 degrés 20'. Au reste ce Problème de la poupe qui reçoit la plus grande impulsion possible par le reflux de l'eau, a encore cette conformité avec celui de la proue rectiligne de la moindre résistance, que l'angle de 76 degrés 20' n'est aussi ici qu'un terme, de la même manière que l'angle droit en étoit un dans l'autre. Si on examine les cas où la différentielle va en augmentant & en diminuant, on verra que la poupe ne sçauroit être trop aiguë, & que les deux côtés BE & be doivent se rencontrer, pourvu qu'ils fassent en c un angle moindre que 76 degrés 20'. Suposé au contraire que la poupe soit

M m m m

Fig. 101. trop courte, & que les deux côtés en se rencontrant fa-
& 102. sent un angle plus ouvert, il faudra alors s'arrêter à l'an-
gle déterminé, & achever de fermer la poupe par un
troisième côté Ee placé perpendiculairement à l'axe.

I V.

Il est clair que la solution précédente doit convenir à toutes les coupes horizontales de la poupe faites à une assez grande profondeur, pour que la vitesse absolue c de l'eau surpasse celle b du Navire. La vitesse c est sensiblement proportionnelle aux racines quarrées des profondeurs, comme on l'apprend en Hydrostatique ; elle est à peu près la même que celle qu'acquerrait l'eau en tombant d'une hauteur égale à cette profondeur. Ainsi à 13 ou 14 pieds d'enfoncement, elle a une vitesse c propre à parcourir 27 ou 28 pieds en une seconde ; elle a une vitesse double de celle du Navire, lorsqu'il fait environ trois lieues par heure & à proportion 14 pieds par seconde. Il faut donc s'approcher considérablement de la surface de l'eau & s'arrêter seulement à trois pieds ou trois pieds & demi de profondeur, pour trouver l'endroit où l'eau n'atteint qu'à peine la poupe, & ne la frappe effectivement par derrière que lorsque l'obliquité des parties facilite le choc. Dans cet endroit l'eau ne poursuit le Navire qu'avec une vitesse de 14 pieds, à peu près égale à la sienne. Notre solution convient encore à ce cas, en même tems qu'elle convient à toutes les tranches horizontales de la poupe qu'on peut imaginer au-dessous, il n'importe de quelle quantité. Mais il est évident qu'elle n'est point applicable aux endroits qui sont au-dessus, ou qui sont entre la surface de l'eau & trois pieds de profondeur, puisque l'eau n'a plus assez de vitesse pour atteindre les parties de la poupe qui sont situées perpendiculairement ; au moins lorsque le Navire singe avec la plus grande vitesse que nous lui attribuons. Le Vaisseau laisse en haut derrière lui un vuide qui ne se remplit qu'à peine ; & il faut par conséquent dans l'expression $ac - ab$

$+bs - \frac{bs^2}{\sqrt{b^2+s^2}}$ de l'impulsion que souffre la poupe, re- Fig. 101.
& 102.

trancher toute la quantité $c - b \times a - s$ que nous avons jointe pour l'impulsion que recevoit le côté CE: il faut en un mot, ne considérer que l'impulsion $cs - \frac{bs^2}{\sqrt{b^2+s^2}}$ à laquelle est sujet le seul flanc BE. Il peut sembler que l'autre expression est assez générale pour s'appliquer à tous les cas; mais la plus grande généralité dont elle jouit, n'a lieu que dans le pur géométrique, sans s'étendre réellement jusqu'au cas physique. Car l'eau qui a moins de vitesse que le Navire ne peut pas venir fraper effectivement le côté CE dans le sens contraire avec la différence de vitesse $b - c$.

Enfin si on prend la différentielle de $cs - \frac{bs^2}{\sqrt{b^2+s^2}}$, on trouvera $cds - \frac{2bsds}{\sqrt{b^2+s^2}} + \frac{bs^3ds}{b^2+s^2}$, & l'égalant à zéro,

il viendra $c \times \frac{b^2+s^2}{b^2+s^2} = 2bs + bs^3$ qui satisfait donc au second cas du Problème; c'est-à-dire, que cette équation indique la situation la plus avantageuse qu'il faut donner aux deux flancs BE & be, lorsque l'eau n'a pas assez de vitesse pour atteindre le côté Ee.

Mais on doit remarquer qu'au lieu que la quantité s ou DE ne dépendoit que de la seule longueur b de la poupe, elle dépend maintenant & de cette longueur & de la vitesse absolue c de l'eau, ou du rapport qu'elle a avec celle du Navire. A mesure que c est moindre, la quantité s ou DE est plus petite; & elle devient nulle, lorsque c se réduit à rien. Ainsi la poupe qui doit se terminer en pointe dans les coupes horizontales qui sont au-dessous de trois pieds de profondeur, perdrait cette figure au-dessus de ce point; si on pouvoit toujours la supposer formée de coupes horizontales comme BEeb: elle iroit en s'élargissant & finiroit à fleur d'eau par une coupe rectangulaire, ou ce qui revient au même, elle auroit les deux flancs exactement parallèles.

M m m m ij

Fig. 101.
& 102.

Le point qui fait la distinction des deux cas, change de hauteur selon que la vitesse du Navire est plus ou moins grande; plus le sillage est lent, plus ce point se trouve élevé, puisqu'il est plus facile à l'eau d'atteindre la poupe. Lorsque le Navire ne fait qu'une lieue & demie par heure ou environ 7 pieds par seconde, l'eau qui n'étoit auparavant suffisamment comprimée qu'à 3 pieds de profondeur, commencera à l'être assez vers 9 ou 10 pouces, pour pouvoir agir efficacement. Il faudroit donc alors que la poupe eut presque par tout la même figure; qu'elle fut formée depuis le bas jusqu'en haut par deux plans verticaux, qui en se rencontrant à l'étambot, fissent un angle qui ne surpassât pas 76 degrés 20 minutes, & que ce ne fut qu'à environ 9 pouces de distance de la surface de la mer, qu'elle s'élargit tout-à-coup, jusqu'à devenir aussi large que l'est le Navire vers le milieu. Ce changement de figure est après tout de peu de conséquence à l'égard de l'impulsion, vu l'extrême lenteur avec laquelle l'eau trop peu comprimée vers sa surface, poursuit le Navire. Mais il est très-digne d'attention, qu'en ne voulant procurer à la partie postérieure de la carène que l'unique propriété d'être poussée par le reflux de l'eau le plus qu'il est possible, on trouve précisément la figure qui ayant le plus de largeur par en haut, fait aussi que le Navire a le plus de force pour porter la voile.

V.

Si on veut que la poupe qui souffre le plus grand choc par le reflux de l'eau, ne soit pas plus large par en haut que par en bas; & qu'on joigne en même tems la condition que le Navire ait plus de force qu'il est possible pour porter la voile, il faudra alors courber ses deux flancs & leur donner quelque convexité. Nommant, comme nous l'avons déjà fait, M le moment total du Vaisseau par rapport à son métacentre, & N la force du vent pour faire accélérer le sillage, y compris l'effort total que fait l'eau sur la poupe, lequel contribue au même effet, & que b soit toujours la vitesse du Navire, on trouvera en suivant à-peu-

près la methode dont nous avons fait usage dans le Chapitre précédent & en prenant e pour la plus grande ordonnée de la poupe, & a pour une arbitraire constante, pendant que u est une variable qui conserve avec a le même rapport que les soutangentes avec les ordonnées, ou que les dx avec les dy , on trouvera dis-je que les ordonnées y de la courbe la plus simple qui satisfait à la question sont

Fig. 101.
& 102.

exprimées par $\sqrt[3]{\frac{6M}{N} \times \frac{e \times a^2 + u^2}{a^2 + u^2} - a^2 bu}$, & les abscisses

x par $\sqrt[3]{\frac{6M}{N} \times \int \frac{\frac{2}{3}abu^2 du - \frac{1}{3}a^3 budu}{e \times a^2 + u^2 - a^2 bu} \times a^2 + u^2}$. Mais tout nous

invite à ne nous point engager dans le calcul numérique des dimensions de cette nouvelle courbe. Nous croyons cette seconde solution fort inférieure à la première, parce que pour se prêter à l'une & à l'autre condition, il arrive qu'on renonce par en bas à la figure qui reçoit absolument le plus d'impulsion de la part de l'eau, & que cependant on n'obtient pas celle qui par en haut donne autant de force au Navire pour soutenir la voile. D'ailleurs il se présente un autre inconvenient auquel il n'y a point de remede. Au lieu que la variabilité des vitesses b dont le sillage est susceptible n'exigeoit auparavant qu'un léger changement qu'on pouvoit négliger dans la figure de la poupe, parce qu'il n'étoit nécessaire que vers le haut, elle demanderoit ici une chose absolument impossible; que la poupe fut totalement & continuellement changée depuis le haut jusqu'au bas: la forme qu'on doit lui donner pour le cas où le sillage est foible, étant très-éloignée de convenir au cas dans lequel le sillage est rapide.

VI.

Ainsi nous avons de fortes raisons pour revenir à la poupe angulaire formée de deux plans verticaux. On joindra, comme nous l'avons dit, cette poupe avec la proue de la même espece dont il a été question dans le premier

Chapitre de cette Section, & on en formera une Frégate d'une figure fort extraordinaire; mais qui ne laissera pas d'avoir ses avantages. Outre qu'elle sera très-facile à construire, elle sera sujette à très-peu de dérive dans les routes obliques; & de plus elle sera très-propre à naviguer dans toutes les Mers. Elle ne sera pas exposée à l'inconvénient qui est si fort à craindre, lorsqu'on rend le dessous de la carène trop fin vers l'avant & vers l'arrière: car si ses deux extrémités sont fort aiguës, elles occuperont cependant toujours assez de place dans la Mer, eu égard à leur peu de poids: elles ne se trouveront jamais en l'air; ce qui diminuera la force du tangage. Cette Frégate ou cette corvette seroit préférable en cela à celle qu'on pourroit former en joignant la proue représentée dans la figure 104 avec une poupe convenable ou correspondante: mais on seroit presque autant gêné dans l'une que dans l'autre, lorsqu'il s'agiroit de disposer la mâture.

C H A P I T R E V I I I .

Suite du Chapitre précédent ; examen de la figure qu'il faut donner à la poupe lorsqu'elle est un conoïde ; & de la manière d'en former une Frégate.

L

IL ne sera pas difficile de déterminer la figure que doit avoir la poupe lorsqu'elle sera un conoïde. Si BADE (Fig. 120.) est ce conoïde dont x désigne les parties de l'axe & y les ordonnées, & que ϵI parallèle à l'axe AC représente la vitesse b du Vaisseau, on aura en formant le rectangle ϵLIK par des parallèles & des perpendiculaires à la surface du conoïde, la quantité ϵL pour la vitesse avec laquelle chaque petite partie comme ϵe de la surface de la poupe, se soustrait à la poursuite de l'eau, lorsqu'elle vient par son reflux remplir le vuide que laisse le Navire derrière lui

Fig. 120

par son progrès en avant. Le triangle $K\epsilon I$ est semblable au Fig. 120.
 petit $\epsilon M\epsilon$ qui est formé par les différentielles dx & dy &
 par la particule $\epsilon\epsilon$ la courbe génératrice du conoïde, ce qui
 donne cette analogie, $\epsilon\epsilon (= \sqrt{dx^2 + dy^2}) | \epsilon M (= dy) || \epsilon I$
 $(= b) | KI = \frac{b dy}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$; & c'est donc $\frac{b dy}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$ qu'il faut
 soustraire de la vitesse absolue de l'eau. Nous avons déjà
 dit que cette dernière vitesse qui est d'autant plus grande
 que l'eau supérieure cause par son grand poids plus de
 compression, est proportionnelle aux racines quarrées des
 profondeurs: Ainsi nommant z ces profondeurs, on aura
 $\sqrt{z} - \frac{b dy}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$ pour la vitesse restante avec laquelle
 l'eau peut choquer chaque partie de la poupe. Elle cho-
 que avec cette vitesse le point E , supposé que z désigne
 CE ; & le point G supposé que z marque la profondeur
 GH . &c.

II.

Il suit de - là que toutes les parties d'une zone
 $BbEDd$ sont choquées avec différentes vitesses \sqrt{z}
 $- \frac{b dy}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$, à cause de leurs diverses profondeurs, quoi-
 que la portion retranchée $\frac{b dy}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$ soit exactement la
 même; parce que chaque zone étant formée par la révo-
 lution d'un petit arc de la courbe génératrice, toutes ses
 parties ont la même obliquité, ce qui produit, à l'égard
 de chaque zone, la même décomposition dans toutes les
 vitesses, comme I^e. Si nous nommons maintenant ds les
 parties élémentaires FG de chaque demie circonférence
 BED dont y marque le rayon, nous aurons $ds \times \sqrt{dx^2 + dy^2}$
 $(= FG \times Ff)$ pour l'étendue de chaque petite partie $FfgG$
 de zone; mais comme ce n'est pas de l'impulsion absolue
 dont il s'agit ici, mais seulement de l'impulsion relative
 qui s'exerce dans le sens de l'axe, il faut, conformément

Fig. 110. à ce que nous avons vû ci-devant, reduire ce petit trapeze Fg à sa projection FOPG sur le plan vertical BED, & nous aurons $dsdy$ pour l'étendue de cette petite projection qu'il faut multiplier, ou par la vitesse $\sqrt{z} - \frac{bdy}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$

ou par son quarré, selon la différente hypothèse qu'on voudra suivre. La seconde hypothèse ne peut avoir que difficilement son application ici, & d'ailleurs la premiere rend le Problème beaucoup plus simple. Ainsi nous multiplions

$\sqrt{z} - \frac{bdy}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$ par $dsdy$, & nous aurons $\sqrt{z} \times dsdy - \frac{bdsdy^2}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$ pour l'impulsion relative que reçoit selon son

axe la petite partie Fg de la surface de la poupe, lorsque le Navire fuit ou avance avec la vitesse b . En intégrant cette expression, pour avoir l'impulsion sur la zone entiere bEd , il faut remarquer qu'il n'y a que z & ds de variables; puisque dy & dx ne sont sujettes à changer, que lorsqu'on passe d'une zone à l'autre. Nous aurons donc $dy \times \int \sqrt{z} \times ds$

$- \frac{bsdy^2}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$ pour l'impulsion relative sur la zone bEd ;

impulsion qui se changera en $dy \times \int \sqrt{z} \times ds - \frac{\pi bydy^2}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$;

si prenant δ & π pour exprimer le rapport du diamètre du cercle à la circonférence, nous faisons attention que $\frac{\pi y}{\delta}$ doit désigner la demie circonférence BED dont CE $= y$ est le rayon.

III.

Il n'est jamais permis dans ces sortes de Problèmes, comme on le sçait, de se borner à la considération d'une seule zone. Si on vouloit qu'une seule souffrit la plus grande impulsion possible en l'assujettissant toujours à dy ou Me constante, & ne faisant varier que $Me = dx$, il faudroit augmenter Me de plus en plus, jusqu'à la rendre infinie; ce qui donneroit à la zone une forme exactement cylindrique.

drique. Alors elle retrancheroit par sa situation le moins qu'il seroit possible de la vitesse absolue \sqrt{z} de l'eau. Mais aussitôt qu'on prend deux zones à côté l'une de l'autre qui doivent, jointes ensemble, avoir une certaine largeur déterminée, en augmentant la largeur de l'une au préjudice de l'autre; on peut en faisant augmenter dx qui appartient à l'une, en même tems qu'on fera subir un égal changement ddx , mais contraire à dx qui appartient à l'autre, faire en sorte que dans les cas actuels mêmes les deux zones jointes ensemble reçoivent la plus grande impulsion possible; & il suffira pour cela de rendre nulle la différentielle de toute l'impulsion. Si nous supposons enfin que dx augmente de ddx , nous aurons $\frac{\pi b y d y^2 d x d d x}{1 \times d x^2 + d y^2}$ pour la différen-

tielle de l'impulsion $d y \sqrt{z} \times d s - \frac{\pi b y d y^2}{\sqrt{d x^2 + d y^2}}$ que souffre

la première zone: mais la même différentielle sera négative dans la zone suivante, à cause de la diversité de modification que souffre ddx , qui de positive, par rapport à la première zone, devient négative par rapport à l'autre. Mais puisque la différentielle de l'impulsion à laquelle sont sujettes les deux zones ensemble, doit être nulle, & que cet anéantissement ne vient que de ce que les deux différentielles particulières se détruisent mutuellement, il faut que ces différentielles soient égales. Elles le seront encore étant divisées également par ddx & par $\frac{\pi b}{y}$; & comme c'est la même chose pour toutes les autres zones, la quantité $\frac{y d y^2 d x}{d x^2 + d y^2}$ doit donc être continuellement constante, & on peut l'égaliser à une quantité a ; ce qui nous donnera $y d y^2 d x = a \times \sqrt{d x^2 + d y^2}$ ou $y^2 d y^4 d x^2 = a^2 d x^6 + 3 a^2 d x^4 d y^2 + 3 a^2 d x^2 d y^4 + a^2 d y^6$ pour l'équation de la courbe qui satisfait au Problème.

Nnnn

Il suffit pour résoudre cette équation de prendre, comme ci-devant, une nouvelle indéterminée u , en la supposant telle que $dx = \frac{udy}{a}$; & on verra sans peine en faisant le reste du calcul, que la formule $\sqrt{\frac{u^4}{a^2} + 3u^2 + 3a^2 + \frac{a^4}{u^2}}$ exprime y , dont la moindre valeur est $\frac{3\sqrt{3}}{2}a$, qui répond à $u = a\sqrt{\frac{1}{2}}$; & que $x = \int \frac{2u^6 du + 3a^2 u^4 du - a^6 du}{\sqrt{a^4 u^8 + 3a^6 u^6 + 3a^8 u^4 + a^{10} u^2}} = \int \frac{2u^5 du}{a^2 \times a^2 + u^2} + \int \frac{3u^3 du}{a^2 + u^2} - \int \frac{a^4 du}{u \times a^2 + u^2}$. La courbe que fournissent ces formules est encore assez droite; elle dépend des logarithmes ou de la quadrature de l'hyperbole, & elle devient une seconde parabole cubique lorsqu'on la prolonge infiniment: de sorte qu'au lieu de devenir parallèle à l'axe, elle s'en éloigne continuellement; & lorsqu'on joindra donc le conoïde qu'elle formera avec le conoïde de la proue, les deux conoïdes n'en seront que plus distingués. Je mets ici une Table par le moyen de laquelle il sera toujours facile de tracer cette courbe dans son commencement ou dans la partie où elle doit avoir le plus de courbure; & on pourra ensuite, si on le veut, la tracer sensiblement droite, ou suivre la seconde parabole cubique. Enfin si on se souvient que l'impulsion de l'eau vers le haut de la poupe est très-foible dans une espace de 2 ou 3 pieds, on jugera assez qu'il n'y a point d'inconvenient à alterer dans cet endroit la figure qu'on vient de trouver: & il n'y aura par conséquent que de l'avantage à élargir la partie postérieure de la carène vers la surface de l'eau, afin que le Navire porte mieux la voile, & afin de procurer aussi plus d'étendue aux logemens des Officiers, qu'on met ordinairement vers la poupe.

T A B L E

Des dimensions de la poupe conoïdale qui contribue le plus qu'il est possible au sillage par l'impulsion qu'elle reçoit du reflux de l'eau.

Abcisses ou parties de l'axe de la poupe.	Ordonnées ou demies largeurs.	Abcisses ou parties de l'axe de la poupe.	Ordonnées ou demies largeurs.	Abcisses ou parties de l'axe de la poupe.	Ordonnées ou demies largeurs.	Abcisses ou parties de l'axe de la poupe.	Ordonnées ou demies largeurs.
0	260	315	485	1538	996	4487	1831
2	262	382	521	1709	1054	4832	1914
5	271	456	559	1893	1114	5188	1998
21	283	539	600	2089	1177	5564	2084
37	299	630	642	2301	1242	5964	2174
59	317	729	686	2525	1309	6381	2265
86	339	838	732	2762	1378	6811	2358
119	364	957	781	3013	1449	7265	2454
159	390	1086	831	3278	1522	7738	2551
204	420	1225	884	3556	1596	8234	2652
256	451	1375	939	3849	1672	8750	2754
				4158	1750		

V.

Il n'y aura aucun inconvenient à joindre la poupe dont la forme est indiquée par cette Table avec la prouë dont nous avons parlé à la fin du Chapitre II. qui n'enfoncé qu'en partie dans l'eau. Mais si au lieu de rendre circulaires les coupes faites perpendiculairement à sa longueur, on les rend des triangles, ainsi qu'il seroit à propos de le faire dans les Corvettes & souvent dans les Frégates ; la Table marquera exactement la courbure qu'il faudra donner au conoïde triangulaire de la poupe, lequel doit se joindre avec la prouë triangulaire que nous avons décrite dans l'article I. du Chapitre IV. & qui est représentée dans la figure 110. Il n'est pas douteux qu'on ne forme de cette sorte des Frégates, qui munies d'une voilure extrêmement legere, singleront avec la plus grande vitesse dans la route direc-

Nnnn ij

te, & qui auront outre cela la propriété en marchant très-vite dans les routes obliques, de dériver le moins qu'il est possible. Il faut encore ajouter qu'on commencera dans ces Frégates à trouver de la facilité à disposer leur mâture : on ne sera pas obligé de la porter si près de l'extrémité de la carène qui devient un peu plus large vers l'avant. D'ailleurs comme la prouë va ici en s'ouvrant vers le haut, il sera plus aisé de donner toute la largeur suffisante à sa partie qui est toujours au-dessus de la Mer, & qui n'est pas déterminée par notre solution.

CHAPITRE IX.

*De la forme que doivent avoir les Navires de transport
& les Navires de guerre, & d'une dernière
forme pour les Frégates.*

IL n'a point été question de la grandeur de la cale ou de la quantité de la charge qu'elle pouvoit contenir, lorsque nous avons travaillé dans les Chapitres précédens à former toutes les parties de la carène. Ainsi il y a lieu de croire que les Vaisseaux que nous sommes actuellement en état de construire ne seroient que de peu d'utilité pour le commerce ou pour la guerre, qui demandent encore plus des bâtimens d'un grand port que des Navires qui marchent vite. Il nous faut donc tâcher de satisfaire à cette nouvelle vuë. Nous ne nous sommes permis dans les Recherches précédentes de grossir la carène, que dans le dessein de conférer plus de rapidité à la marche; mais nous devons désormais pousser le renflement de cette partie encore plus loin; pourvû que nous réussissions à donner plus de capacité à la cale ou à faire augmenter la quantité de la charge dans un plus grand rapport que nous ne ferons diminuer la promptitude du sillage. Pour le dire, en un mot; c'est la solidité de la carène multipliée par la vi-

tesse que nous devons rendre la plus grande qu'il est possible. Ce ne sera ni la quantité de la masse transportée qui fera un *maximum*, ni la simple vitesse du transport : mais ce sera le produit de l'une par l'autre, ou la quantité même du mouvement, lequel dépend, comme le sçavent tous les Physiciens, de la masse du corps mû & de sa vitesse. Il est clair que si nous réussissons à résoudre ce nouveau Problème, le Navire dans un tems donné, transportera ensuite la plus grande quantité de marchandises à la plus grande distance, ou qu'il singlera avec la plus grande vitesse possible, eu égard à la grandeur de sa charge. On peut remarquer que c'est précisément le même Problème, que s'il s'agissoit de trouver la figure qui rend le sillage le plus rapide, lorsque la solidité de la carène est donnée.

I.

Première solution, pour le cas dans lequel la prouë est formée par deux plans verticaux qui font un angle.

Suposons que le parallelipede rectangle EFIH (Fig. 121) soit formé des plus grandes dimensions qu'on peut donner au Navire qui aura pour le propre corps de sa carène une partie NPQL de ce parallelipede : cette partie séparera la poupe de la prouë qui ne viendront pas se joindre immédiatement vers le milieu de la carène comme dans les Navires destinés à singler avec la plus grande vitesse ; l'avant & l'arrière seront formés l'un & l'autre par deux plans verticaux qui feront un angle, en se terminant aux arrêtes verticales AR & BS. Nous pouvons former ainsi la prouë par la rencontre de deux plans ; puisque nous sçavons que cette figure éprouve la moindre résistance de la part des fluides & qu'elle est outre cela sensiblement une des plus avantageuses, ou qu'elle ne differe que très-peu d'une des figures de la plus grande vitesse. Le milieu C de la partie OL la plus grosse de la carène sera toujours, si on le veut, plus avancé vers la prouë A, & rien n'empêchera

Fig. 121.

Fig. 121.

qu'il n'y ait entre AC & CB le raport de 5 à 7 que nous avons trouvé le plus convenable. On fera TC & CV égales : la carène conservera sa même grosseur sur toute la longueur TV aux extrémités de laquelle elle commencera à se retrecir. Ainsi toute la question se réduira à déterminer le point T qui est comme le commencement de la prouë.

Je nomme a la partie AC de la longueur du Navire du côté de l'avant; b l'autre partie CB; c la demie largeur TO ou VM, de même que la profondeur AR ou BS que je suppose égale à la plus grande demie largeur; enfin je désigne par x la longueur AT que doit avoir la prouë & qu'il s'agit de découvrir. Cela supposé, on aura $a - x$ pour la demie longueur TC ou VC du corps de la carène ou de ce solide que nous introduisons entre la poupe & la prouë, & $b - a + x$ ($= CB - CV$) pour la longueur VB de la poupe. L'étendue de l'exagone irrégulier ANLBMO sera exprimée en même tems par $3ac + bc - 2cx$ qui est la somme du rectangle $NM = 4ac - 4cx$, & des deux triangles NAO & MBL, dont l'un est égal à cx , & l'autre à $bc - ac + cx$; & multipliant cette étendue par la profondeur c de la carène, il viendra $3ac^2 + bc^2 - 2c^2x$ pour la solidité.

Si l'on applique au même exagone ANLBMO la formule $\frac{2}{3} \int \frac{y^3 dx}{p}$ qui indique la quantité dont le métacentre est au-dessus du centre de gravité même du Navire, on aura $\frac{\frac{2}{3}a + \frac{1}{6}b - x \times c^3}{p}$ pour cette hauteur dont une partie plus ou moins grande, selon que le Navire est plus ou moins incliné, sert comme de bras de levier à la pesanteur totale p . On a réduit dans la Section précédente cette hauteur à sa sixième partie, pour en former le levier, & si on multiplie cette partie par la pesanteur p il viendra $\frac{2}{3}a + \frac{1}{6}b - x \times \frac{1}{6}c^3$ pour le moment de cette pesanteur, ou pour la force relative qu'a le Navire pour soutenir la voile; & il ne restera plus pour l'évaluer en mesures ordinaires qu'à suppo-

fer que a, b & c sont en pieds de Roy & multiplier la quantité précédente par 72 livres qui est le poids du pied cubique d'eau de mer, & on aura $\frac{7}{8}a + \frac{1}{8}b - x \times 12c^3$ pour la valeur du moment ou de la stabilité en livres. Fig. 214

C'est ce moment ou cette force relative, comme le savent les Lecteurs, qui s'oppose à l'effort que fait la voile pour faire verser le Navire. Nous nommerons l la largeur des voiles, h leur hauteur exprimée en pieds de Roy, & i l'impulsion que fait le vent sur chaque pied carré de surface. L'étendue des voiles sera exprimée par hl , l'impulsion totale du vent par ihl , & le moment de cet effort qui se réunit au milieu de la mâture par $\frac{1}{2}ih^2l$. Il est vrai que nous négligeons la quantité dont le bas de la voile est élevé au-dessus du point de la carène qui sert d'hypomoclion, ce qu'on peut faire presque dans tous les cas, & à plus forte raison dans les Navires de charge qui sont peu élevés au-dessus de l'eau. Mais l'égalité qu'il y a entre les momens de l'effort du vent & de la pesanteur du Navire qui se contrebalancent mutuellement, donne l'équation $\frac{7}{8}a + \frac{1}{8}b - x \times 12c^3 = \frac{1}{2}h^2l$, dont on tire la formule $h = \sqrt{\frac{7}{8}a + \frac{1}{8}b - x \times \frac{24c^3}{l}}$ qui nous apprend la hauteur que doit avoir la mâture; & l'étendue lh des voiles sera donc exprimée par $\sqrt{\frac{7}{8}a + \frac{1}{8}b - x \times \frac{24c^3}{l}}$.

Enfin il faut déterminer la vitesse du sillage du Navire; & il est nécessaire pour cela de chercher la quantité de l'impulsion de l'eau sur la prouë que nous comparerons à l'impulsion du vent sur les voiles. L'angle d'incidence de l'eau est égale à l'angle TAO; & si on prend l'unité pour sinus total, on trouvera le sinus de cet angle par cette analogie, $AO (= \sqrt{AT^2 + TO^2}) = \sqrt{c^2 + x^2} \mid TO = c \mid 1 \mid \frac{c}{\sqrt{c^2 + x^2}}$; & multipliant le carré de ce sinus par l'étendue $2c^2$ à laquelle se réduit la prouë projetée sur un plan perpen-

Fig. 121. diculaire à la longueur du Navire, on aura $\frac{2c^4}{c^2+x^2}$ pour l'impulsion relative directe selon la détermination de l'axe, laquelle doit être égale à l'effort du vent sur la voile. Il faut cependant encore multiplier $\frac{2c^4}{c^2+x^2}$ par le quarré de la vitesse du choc. Je nomme v cette vitesse, & V celle du vent, pendant que je désigne par l'unité la densité de l'air & par D celle de l'eau, & j'ai $\frac{2c^4 D v^2}{c^2+x^2}$ pour l'impulsion de l'eau; pendant que le quarré de la vitesse respective $V-v$ du vent par raport au Navire, multiplié par l'étendue des voiles $\sqrt{\frac{7}{6}a + \frac{1}{6}b - x} \times \frac{24c^3 l}{i}$ & par la densité 1 de l'air, donnera $\overline{V-v}^2 \times \sqrt{\frac{7}{6}a + \frac{1}{6}b - x} \times \frac{24c^3 l}{i}$ pour l'impulsion du vent: & on aura par conséquent l'équation $\frac{2c^4 D v^2}{c^2+x^2} = \overline{V-v}^2 \times \sqrt{\frac{7}{6}a + \frac{1}{6}b - x} \times \frac{24c^3 l}{i}$ dont on tire $v \sqrt{\frac{2c^4 D}{c^2+x^2}} = \overline{V-v} \times \sqrt{\sqrt{\frac{7}{6}a + \frac{1}{6}b - x} \times \frac{24c^3 l}{i}}$, & $v = \frac{\overline{V} \sqrt{\sqrt{\frac{7}{6}a + \frac{1}{6}b - x} \times \frac{24c^3 l}{i}}}{\sqrt{\frac{2c^4 D}{c^2+x^2}} + \sqrt{\sqrt{\frac{7}{6}a + \frac{1}{6}b - x} \times \frac{24c^3 l}{i}}}$ qui indique la vitesse que doit recevoir le sillage. Or il ne reste plus qu'à multiplier cette expression par la solidité ou la masse $3ac^2 + bc^2 - 2c^2x$ de la carène trouvée ci-devant, & il viendra $\frac{\overline{V} \sqrt{\sqrt{\frac{7}{6}a + \frac{1}{6}b - x} \times \frac{24c^3 l}{i}} \times \sqrt{c^2+x^2} \times 3ac^2 + bc^2 - 2c^2x}{\sqrt{2c^4 D} + \sqrt{\sqrt{\frac{7}{6}a + \frac{1}{6}b - x} \times \frac{24c^3 l}{i}} \sqrt{c^2+x^2}}$ pour la quantité du mouvement, dont il s'agit de faire un *maximum*, puis qu'on veut que le Navire transporte la plus grande charge avec la plus grande vitesse possible.

Ainsi il faut prendre selon les regles ordinaires la différentielle

$$\frac{c\sqrt{D}\sqrt{v}}{6l} \times \frac{2}{4} x^3 dx - \frac{1.01}{24} a \left\{ \begin{array}{l} + \frac{7}{4} a^2 \\ - \frac{23}{24} b \end{array} \right\} x^2 dx + \frac{5}{6} ab \left\{ \begin{array}{l} + \frac{1}{12} b^2 \\ + \frac{5}{4} c^2 \end{array} \right\} x dx - \frac{37}{24} ac^2 \left\{ \begin{array}{l} - \frac{7}{24} c^2 b \end{array} \right\} dx$$

$$- dx \times \frac{7}{8} a + \frac{1}{8} b - x^{\frac{5}{4}} \times c^2 + x^{\frac{3}{2}}$$

$$c\sqrt{D}\sqrt{v} \frac{ci}{6l} + \sqrt{v} \sqrt{\frac{7}{8} a + \frac{1}{8} b - x} \sqrt{c^2 - x^2}$$

& l'égalant à zéro, il viendra l'équation

$$\frac{2}{4} x^3 - \frac{1.01}{24} a \left\{ \begin{array}{l} + \frac{7}{4} a^2 \\ - \frac{23}{24} b \end{array} \right\} x^2 + \frac{5}{6} ab \left\{ \begin{array}{l} + \frac{1}{12} b^2 \\ + \frac{5}{4} c^2 \end{array} \right\} x - \frac{37}{24} ac^2 \left\{ \begin{array}{l} - \frac{7}{24} c^2 b \end{array} \right\} = \frac{\frac{7}{8} a + \frac{1}{8} b - x^{\frac{5}{4}} \times c^2 + x^{\frac{3}{2}} \sqrt{6l}}{c\sqrt{D}\sqrt{v}ci}$$

qui fournit la solution du Problème. Il n'y a qu'à chercher dans cette équation la valeur de x , & on sçaura la longueur qu'il faudra donner à l'axe AT de la prouë.

Pour réduire en nombre la quantité $\frac{v\sqrt{cl}}{c\sqrt{D}\sqrt{v}ci}$ qui multiplie le second membre, on n'a qu'à mettre 576 à la place de D qui désigne la densité de l'eau par raport à celle 1 de l'air, conformément aux expériences de M. Mariote. On pourra supposer aussi comme nous l'avons fait dans la Section précédente que l'effort i du vent sur chaque pied carré d'étendue de la voile, est de 2 livres, & que la largeur l des voiles actuellement exposées au vent, est égale à trois fois la largeur du Navire ou égale à $6c$. La grande voile seule a sa largeur par en bas double de celle du Navire ou égale à $4c$; on mettra le surplus, parce que les voiles inférieures sont plus larges par en haut, & qu'outre cela le vent peut frapper sur une partie de celles de la prouë.

Toutes ces suppositions rendent $\frac{v\sqrt{cl}}{c\sqrt{D}\sqrt{v}ci}$ égale à $\frac{\sqrt{v}18}{24}$ qui est égale à très-peu près à $\frac{86}{1000}$ & après cela l'équation ne contient plus que des quantités parfaitement connues, si on excepte x . Mais si on revêt de nombres la différen-

O o o o

Fig. 121.

tielle même, ou si on la considère seulement avec attention, on verra qu'elle est d'abord négative; & qu'ainsi lorsque la proue est terminée par un seul plan vertical DI & qu'on commence à la former en angle ou à donner quelque accroissement à l'axe AT, la quantité du mouvement que reçoit le Navire commence par aller en diminuant. C'est ce qu'elle fait jusqu'à un certain terme qui est un *moindre* & qui est indiqué par une première valeur de x qu'il faut par conséquent éviter avec soin dans la construction. Au-delà de ce terme, la différentielle devient positive, ou ce qui est la même chose, la quantité du mouvement va en croissant & elle parvient à la fin à son *maximum* qui répond à une autre valeur AT de x que fournit également la différentielle égale à zéro. Cette seconde valeur de x étant découverte, il est à propos de l'introduire dans l'expression même

$$\frac{V \sqrt{\frac{2}{3}a + \frac{1}{6}b - x \times \frac{24c^3l}{i}} \times \sqrt{c^2 + x^2} \times \sqrt{3ac^2 + bc^2 - 2c^2x}}{\sqrt{2c^4D} + \sqrt{\frac{2}{3}a + \frac{1}{6}b - x \times \frac{24c^3l}{i}} \times \sqrt{c^2 + x^2}}$$

du mouvement, afin d'éprouver si elle le rend réellement plus grand que lorsque l'axe AT ($=x$) est nulle, ou que lorsque la proue est terminée par un seul plan vertical DGIH. Car comme la quantité du mouvement diminue d'abord lorsqu'on fait croître x , & qu'elle n'augmente qu'ensuite, il se pourroit faire que la somme de ses accroissemens ne fut pas si grande que la somme des premières diminutions qu'elle a souffertes; & alors le Navire formé à la Chinoise en parallélipède rectangle par l'avant, recevrait plus de mouvement, & seroit préférable. Dans ce cas Pierre Janisse dont nous avons parlé eut eu raison.

Supposé qu'il s'agisse en particulier d'un Navire de 144 pieds de longueur formée de AC de 60 pieds & de CB de 84, & que la largeur soit de 40 pieds, on trouvera par la résolution de l'équation que l'axe AT de la proue qui rend effectivement le mouvement le plus grand qu'il est possible, doit être d'un peu plus de 37 pieds; de sorte que

la partie NM de la carène qui est partout de même grosseur sera d'un peu moins de 46 pieds de longueur & l'axe VB de la poupe d'environ 61 : & il faudra observer à peu-près les mêmes rapports dans tous les autres bâtimens. On regardera peut-être comme un paradoxe que les Navires de transport qui ont leur principales dimensions proportionnelles, ne sont pas semblables, aussi-tôt qu'ils ont la forme la plus parfaite ou qu'ils singlent avec la plus grande vitesse possible, à proportion de la charge qu'ils peuvent porter. Cette diversité de figures vient originairement du vice attaché aux petits Navires, de n'avoir pas tant de force à proportion que les grands pour soutenir la voile, & de ce qu'ils singlent par conséquent moins vite, lorsque toutes les circonstances sont les mêmes. Il suit delà que lorsqu'on rend leur prouë un peu plus longue ou plus aiguë, & qu'on retranche de la capacité de leur cale, la quantité de leur mouvement s'en trouve un peu augmentée; parceque le même changement produit plus d'effet sur leur vitesse qu'il n'en produiroit sur celle des grands Vaisseaux, qui est d'autant moins susceptible d'augmentation, qu'elle est déjà plus grande, & que le vent se meut moins vite à leur égard; & c'est ce qui résulte aussi de la solution précédente. Cependant on peut presque toujours négliger cette différence dans la pratique: car un Navire de charge qui a 36 pieds de long doit avoir l'axe de la prouë d'un peu moins de 10 pieds; & il est permis de confondre dans ces matieres le rapport d'un peu moins de 10 à 36 avec celui d'un peu plus de 37 à 144. Enfin on peut prendre pour regle générale de conserver à la carène sa même grosseur sur un espace qui soit à peu-près les 32 centièmes de toute la longueur du Navire. Si on raccourcissoit cette partie, la prouë deviendrait plus aiguë & le sillage plus rapide; mais le surplus de la rapidité ne repareroit pas la perte qui se feroit sur la quantité même de la charge: & si on allongeoit au contraire le corps de la carène en raccourcissant la prouë, le Navire porteroit ensuite une plus grande charge; mais sa vitesse diminueroit dans un plus grand

O o o o ij

Fig. 121.

rapport , & il y auroit donc une perte réelle sur la quantité absolue du mouvement ou du transport.

II.

Seconde solution , pour le cas dans lequel la prouë est terminée par un seul plan incliné en avant.

Fig. 122.

* Voyez
les art. 3 &
5 du Chap.
5.

Au lieu de former la prouë par deux plans verticaux qui fassent un angle , on peut la terminer par un seul plan incliné en avant comme dans la figure 122 ; & conserver à la coupe horisonale DEFG du Navire faite à fleur d'eau sa forme rectangulaire. La prouë aura dans ce cas comme on le sçait * non-seulement la figure de *la moindre résistance* , mais celle de *la plus grande vitesse*. Elle sera aussi poussée le plus qu'il est possible dans le sens vertical , ce qui augmentera la hauteur du point vélique ; & ce qui ne l'augmentera pas inutilement , puisque le Navire portera beaucoup de voiles dans toutes les routes. La poupe d'un autre côté étant terminée par un plan incliné en arriere aura aussi la propriété de contribuer le plus qu'il sera possible à la vitesse du sillage par le choc que produira le reflux de l'eau , comme on peut s'en assurer aisément par la méthode expliquée dans l'autre Chapitre. Ainsi il n'est question que de déterminer la longueur qu'il faut donner au propre corps NQ de la carène ; & on y réussira avec facilité , en suivant les vestiges de la solution précédente ; ce second Problème étant beaucoup plus simple que le premier.

Si l'on conserve toujours les mêmes dénominations que ci-devant , qu'on désigne AC par a ; CB par b ; la demie-largeur du Navire par c , la longueur GO de la prouë par x &c. On aura $3ac^2 + bc^2 - 2c^2x$ pour la solidité de la carène , ou pour la capacité de la cale ; $8ac^3 + 8bc^3$ pour la stabilité ou pour la force relative en livres qu'a le Navire pour soutenir la voile : on aura $\sqrt{\frac{16ac^3l + 16bc^3l}{i}}$ pour l'éten-

duë lh des voiles ; $\frac{2c^4Dv^2}{c^2+x^2}$ pour la force de l'impulsion de Fig. 122.

l'eau sur la prouë ; $\frac{V\sqrt{c^2+x^2}}{\frac{c\sqrt{D}\sqrt{ci}}{\sqrt{4al+4bl}} + \sqrt{c^2+x^2}}$ pour la vitesse

du sillage ; & enfin en multipliant cette expression de la vitesse par celle $3ac^2+bc^2-2c^2x$ de la grandeur de la cale , on aura $\frac{3ac^2+bc^2-2c^2x \times V\sqrt{c^2+x^2}}{\frac{c\sqrt{D}\sqrt{ci}}{\sqrt{4al+4bl}} + \sqrt{c^2+x^2}}$ pour la quantité

du mouvement qu'il s'agit de rendre un *maximum*.

Il ne reste par conséquent qu'à prendre la différentielle de cette quantité & à l'égaliser à zéro ; on aura $3ax+bx$

$-4x^2-2c^2 = \frac{c^2+x^2}{c\sqrt{D}\sqrt{ci}} \times \frac{2\sqrt{4al+4bl}}{c\sqrt{D}\sqrt{ci}}$, & on trouvera dans cette équation , si on suppose comme ci-devant que la longueur totale du Navire est de 144 pieds & sa largeur de 40 , que la saillie OG ou ND de la prouë doit être d'un peu plus de 44 pieds. D'où il suit que le corps NQ de la carène aura environ 32 pieds de longueur , & la poupe environ 68. On pourra observer à-peu-près les mêmes proportions dans tous les autres Navires.

Il n'est pas étonnant que la prouë se trouve un peu plus longue que lorsqu'elle est formée en pointe par deux plans verticaux qui font un angle. Car la longueur de la prouë dans cet autre cas ne contribue au *maximum* du mouvement que par un seul chef , & elle y nuit au contraire par deux. Elle y contribue en rendant la prouë plus aiguë & en faisant diminuer la résistance de l'eau , ce qui rend le sillage un peu plus prompt. Au lieu qu'elle y nuit , 1°. En rendant moindre la capacité de la carène , & 2°. En faisant diminuer la force qu'a le Navire pour porter la voile , ce qui cause donc aussi quelque diminution sur la vitesse du sillage. Ce n'est pas la même chose dans le cas présent ; la force qu'a le Navire pour soutenir la voile , est constante , puisque la figure & l'étendue de la coupe horisontale DEFG de la carène ne changent pas. C'est pourquoi on trouve de l'a-

Fig. 122.

vantage à allonger un peu plus la prouë; on diminuë un peu de la capacité de la cale; mais on gagne plus à proportion sur la vitesse de la marche. Au surplus si on adoucit les arrêtes du Navire de la figure 122, on aura presque la forme des Flutes Hollandoises; à cela près que ces Flutes n'ont pas tant de *façons* ou que leur prouë a moins de saillie; ce qui nous montre que si les Nations Septentrionales ont le plus approché de la perfection à l'égard des bâtimens de charge, elles ne l'ont cependant pas entièrement atteinte. Elles ont manqué le *maximum* du mouvement en rendant la capacité de leur Navire trop grande, & en faisant trop diminuer la promptitude du sillage. Les grandes façons de notre Flute feront encore qu'elle dérivera assez peu, pourvû qu'on prolonge suffisamment la quille au-dessous de la prouë, en donnant à l'étrave une situation plus verticale. Nous avons déjà averti de la nécessité de conserver cette partie qui n'est pas exprimée dans la figure que nous avons actuellement sous les yeux, mais qui l'est dans plusieurs autres & principalement dans la vingt-cinquième. En un mot, nous ne faisons pas difficulté de dire que nous croyons avoir obtenu par cette seconde solution, la forme la plus parfaite qu'on puisse donner aux Navires de transport, lorsqu'il n'y a point de raisons particulières pour insister plus ou moins sur une propriété ou sur l'autre; sur celle qu'ils doivent avoir de porter une grande charge, ou sur celle de marcher avec vitesse. Il est absolument nécessaire de mettre ici cette restriction: car si une Flute n'est destinée qu'à faire des voyages dans une certaine saison, sans qu'on puisse les multiplier, & que cependant on ait du tems de reste; il est évident que ce n'est plus le cas dont il s'agit dans notre Problème. On doit alors renoncer au *maximum* du mouvement, pour se rapprocher de la construction Hollandoise, en augmentant la grandeur de la cale.

III.

*Méthode particulière de former les Vaisseaux de Guerre
& les Frégates.*

On pourra donner avec avantage cette même forme aux Vaisseaux de guerre; la rectitude de leur flancs, comme nous l'avons dit dans le premier Livre, permettra de leur donner une nombreuse artillerie; leur pont ou tillac sera non-seulement très-vaste, il sera également large par tout; ce qui est extrêmement avantageux: & malgré cela ces Vaisseaux marcheront avec la plus grande vitesse, si on leur donne les voiles qu'ils pourront porter. La partie dont nous avons parlé plus haut qui est marquée par BCF dans la figure 25, ne peut nuire à la rapidité du sillage que par la seule résistance qu'éprouve son extrémité ou l'épaisseur de l'étrave: cette résistance sera toujours peu considérable dans tous les Navires; & si on vouloit la détruire presque entièrement, il n'y auroit qu'à former l'étrave en couteau, & garnir de fer son tranchant, pour qu'il ne s'émoussât pas.

Rien n'empêchera aussi, lorsque le poids des parties supérieures le permettra, de supprimer entièrement le tronc de la carène qui sépare l'avant de l'arrière. Les deux plans inclinés qui formeront la proue & la poupe, partiront ensuite en bas du même point; ils seront d'autant plus inclinés que le Navire fera plus long par rapport à sa profondeur. On aura de cette sorte une Frégate ou une corvette qui ne paroîtra qu'ébauchée, mais dont il faudroit cependant faire quelques essais, pour sçavoir si elle n'est pas réellement préférable à toutes les autres; quoiqu'on se fonde en la proposant, sur la remarque faite à la fin du Chapitre IV. & qu'il semble qu'on n'ait en vûe que la seule commodité des Marins. C'est toujours un avantage dont elle jouira, & qu'il faut joindre aux autres, dont nous avons fait mention au commencement de l'article précé-

Fig. 122. dent , que le concours de toutes les directions du choc de l'eau , se fasse vers le milieu de la carène. On se souvient que c'est au-dessus de ce point que doit repondre l'effort total du vent sur les voiles : ainsi au lieu d'être obligé d'entasser , pour ainsi dire , les mâts les uns auprès des autres vers la prouë , on aura ici tout le champ nécessaire , on aura toute l'étendue que fournit la longueur du Navire ; ce qui donnera également au Constructeur la facilité de bien disposer la mâture & de la rendre legere , en étendant plus les voiles dans le sens de la largeur que dans celui de la hauteur ; & aux Matelots la facilité d'exécuter en Mer toutes leurs manœuvres.

C'est principalement à l'égard de cette Frégate , qu'il faudra employer le moyen que nous avons indiqué à la fin du Livre précédent , pour remédier à la violence du tangage , en rassemblant presque tout le poids vers le milieu de la cale. On pourra non-seulement , lors qu'on adoucira les angles que forment entr'elles les diverses parties de la surface de la carène , se proposer de faire diminuer encore l'impulsion de l'eau sur la prouë ; on pourra gagner quelque chose en retrecissant le Navire par ses deux extrémités , pourvû que ce retrecissement n'aille pas trop loin. Si ces Bâtimens pechent par quelque endroit , c'est qu'ils seront plus propres à glisser sur l'eau qu'à la fendre , & que leur forme déterminera plutôt l'eau à passer par dessous la carène qu'à se retirer par les côtés : mais ce défaut n'est porté si loin dans les Chalands & dans les Bateaux qui navigent sur les rivières , que parce qu'ils sont trop larges par rapport à leur profondeur ; & qu'ils sont outre cela dénués de ces deux parties qui servent à lier la quille avec la prouë & la poupe , & qui se terminent à l'étrave & à l'étrambot , placés presque verticalement. Il ne seroit enfin question , à ce qu'il nous paroît , que d'accoutumer ses yeux à de semblables figures ; tout se reduiroit à une seule forme dans la construction , & rien ne seroit ensuite plus simple que l'Architecture navale qui étoit auparavant si difficile.

CHAP.

CHAPITRE X.

Suite du Chapitre précédent : examen de la figure particulière qu'il faut donner à la prouë des Navires de transport.

I.

MAIS malgré toutes nos recherches , nous n'avons encore trouvé que la forme générale du Navire de transport, ou les seules proportions qu'on doit mettre entre les diverses parties de sa carène; & nous ignorons toujours la figure propre de sa prouë , qui au lieu d'être terminée par un plan incliné , doit l'être par une surface courbe. La prouë formée par un plan incliné en avant réunit en même tems , comme nous l'avons montré , les deux propriétés d'éprouver la moindre résistance de la part de l'eau & de faire singler le Navire avec la plus grande rapidité ; & ce plan incliné de plus selon selon le degré précis que nous venons de déterminer , fera que tout considéré , la quantité du transport sera la plus grande qu'il sera possible. Mais en substituant au plan une surface courbe , nous pouvons , en perdant quelque chose du côté de la promptitude du sillage , faire une plus grande acquisition sur la grandeur de la carène , & gagner par conséquent encore sur la quantité totale de la charge , en tant qu'elle est transportée. Cette surface courbe constituera une troisième espèce de prouë , qu'on peut nommer celle *du plus grand mouvement* pour la distinguer des deux autres , de celle *de la moindre dérive* ou *de la moindre résistance* , & de celle *de la plus grande vitesse*. Il nous reste donc encore à racher de découvrir la nature de cette dernière prouë , si nous voulons ne pas nous contenter d'une perfection universelle repandue sur le total de la figure , & que nous prétendions

P p p p

Fig. 122. que chaque partie du Navire de transport soit parfaite prise séparément.

Nous nous hâtons de passer par les discussions préliminaires de la hauteur de la mâture, de l'étendue des voiles, de la vitesse du sillage, &c. dont on voit assez la nécessité indispensable; pour venir plus promptement à l'intérieur même du Problème, ou à ce qui le distingue du précédent. Nous nommerons, ainsi que nous l'avons déjà fait ailleurs, M la stabilité ou la force relative qu'à le Navire pour soutenir l'effort que fait le vent sur la voile. On évaluera cette force en livres: & comme il n'en est qu'une certaine partie, comme la sixième, par exemple, qui s'oppose à l'effort du vent, parce que le Navire ne doit jamais s'incliner tout-à-fait, nous désignerons cette partie par fM qui doit donc être égale au moment de l'effort du vent; & ce qui donne l'équation $fM = \frac{1}{2}lh^2i$. La hauteur des voiles est toujours indiquée par h , leur largeur par l , & l'effort absolu du vent sur chaque pied carré de surface par i ; ce qui donne lh pour l'étendue des voiles; lhi pour l'effort absolu du vent, & $\frac{1}{2}lh^2i$ pour son moment. De cette équation $fM = \frac{1}{2}lh^2i$, j'en déduis la hauteur des voiles $h = \sqrt{\frac{2fM}{li}}$, & leur étendue $lh = \sqrt{\frac{2fM}{i}}$.

Je nomme de plus I l'impulsion totale directe de l'eau sur la proue, telle qu'elle nous est fournie immédiatement par les méthodes purement géométriques, lorsqu'on prend l'unité pour sinus total: C'est-à-dire, que I désigne l'étendue de la surface plane qui recevrait la même impulsion, si elle étoit exposée perpendiculairement au choc du fluide. Je la multiplie par la densité D de l'eau & par le carré v^2 de la vitesse du sillage: ce qui me donne $D \times I \times v^2$ pour l'impulsion complète ou physique, qui est parfaitement égale & parfaitement contraire à l'impulsion du vent sur les voiles, lorsque le Navire a acquis son mouvement uniforme. Cette dernière impulsion est $V - v$ $\sqrt{\frac{2fM}{i}}$ produit de l'étendue $\sqrt{\frac{2fM}{i}}$ de la surface exposée au

choc par la densité I de l'air & par le quarré $\overline{V-v}^2$ de la vitesse respective du vent ou de l'excès de la vitesse V du vent sur celle du Navire. Ainsi nous avons dans le cas de l'équilibre $D \times I \times v^2 = \overline{V-v}^2 \sqrt{\frac{fIM}{i}}$ dont nous déduisons

$$\text{la vitesse du Navire } v = \frac{V \sqrt{v_2 fIM}}{\sqrt{v_1 V D V I + v_2 fIM}}.$$

Enfin je nomme P la pesanteur totale du Vaisseau, & la multipliant par la vitesse que je viens de trouver, il me vient $\frac{V \times P \sqrt{v_2 fIM}}{\sqrt{v_1 V D V I + v_2 fIM}}$ pour la quantité du *transport*, ou pour celle du mouvement. C'est cette quantité que nous voulons rendre un *maximum* : c'est pourquoi j'en prends la différentielle, en traitant la pesanteur P comme variable, de même que le moment ou la stabilité M , & l'impulsion I : & cette différentielle égale à zéro, se réduit à

$$\frac{dP \sqrt{v_2 fIM}}{\sqrt{v_1 V D V I + v_2 fIM}} = \frac{\frac{1}{2} \sqrt{v_1 V D} \times M \times P \times dI - \frac{1}{2} \sqrt{v_1 V D} \times I \times P \times dM}{V I \times M^2 \times \sqrt{v_1 V D V I + v_2 fIM}^2}.$$

Ainsi il ne s'agit plus que d'assujettir à cette équation toute la courbure de la prouë ; & on n'y trouvera aucune difficulté aussi-tôt qu'on fera attention à la manière dont nous avons déjà considéré ci-devant les différentielles des quantités particulières M & I dans le Chapitre VI.

II.

Suposé que la prouë soit un conoïde formé par la révolution de la courbe RT (Fig. 119.) autour de son axe RS , dont les abscisses sont désignées par x , pendant que les ordonnées de la courbe le sont par y , on n'a qu'à considérer deux parties consécutives & infiniment petites DH & HF de la ligne courbe & leur faire prendre la situation Dh , hF , en laissant les dy ou IH & FL constantes, & ne faisant varier que les dx , de la petite quantité du second genre $Hh = ddx$. L'aire renfermée par la courbe se trouvera augmentée des deux petits triangles DHh , FHh dont l'éten-

P p p p ij

Fig. 119.

duë est $dyddx$, & si on la multiplie par la longueur du chemin de rotation que décrit son centre de gravité, pendant que la courbe engendre le conoïde, on aura l'anneau par lequel la pesanteur totale P est augmentée. J'exprime par δ & π le rapport du rayon à la demi-circonférence du cercle; ce qui me donne $\frac{\pi y}{\delta}$ pour le chemin de rotation, ou pour le pourtour du demi-anneau que forment les deux triangles DHh & HFf par leur demi-circonvolution autour de l'axe AC ou RS . Ainsi $\frac{\pi}{\delta} y dyddx$ sera la solidité de cet anneau & ce sera en même tems la valeur que nous voulions obtenir, de la différentielle dP de la pesanteur P .

Le moment M , comme on le sçait, est égal à $\frac{2}{3} y^3 dx$ ou aux deux tiers de l'espace RPG , lorsqu'on rend les ordonnées EM , GP , &c. de la nouvelle courbe RP égales aux cubes y^3 des ordonnées correspondantes ED , GF de la courbe qui forme le conoïde. Ainsi la différentielle dM sera égale aux deux tiers des deux petits triangles MNn & NPn qui naissent par le changement de disposition des petits côtés MN , NP de la courbe RP , en même tems qu'on fait changer la disposition des petits côtés de la courbe principale. Nous avons pour NO ou QP l'expression $3y^2 dy$ différentielle de y^3 : multipliant $3y^2 dy$ par $Nn = ddx$, nous aurons $3y^2 dyddx$ pour l'étendue des deux petits triangles dont il s'agit; & nous aurons donc $2y^2 dyddx$ pour la valeur de la différentielle dM .

Il nous reste à chercher dI . Je prends l'unité pour sinus total & je remarque que l'angle IDH est égal à l'angle d'incidence de l'eau sur la petite partie DH ou sur toute la zone que forme DH par sa demi-révolution; puisque le mouvement du fillage est censé se faire dans le sens exactement parallele à l'axe RS ou à DI . Nous trouverons donc le sinus de l'angle d'incidence par cette analogie

$$\sqrt{dx^2 + dy^2} = DH = \sqrt{DI^2 + IH^2} \quad dy = HI \quad 1 \mid \frac{dy}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$$

& il n'y a qu'à en multiplier le quarré $\frac{dy^2}{dx^2 + dy^2}$ par la Fig. 119

couronne plane à laquelle se réduit la zone qui reçoit le choc, lorsqu'on la projette sur un plan perpendiculaire à l'axe. Cette couronne a pour circuit la demi-circonférence

$\frac{\pi}{2}$ dont l'ordonnée y est le rayon, & sa largeur est $HI = dy$.

Ainsi l'impulsion relative, selon la détermination de l'axe que souffre la zone formée par la revolution du petit côté

DH, est égale à $\frac{\pi y dy^3}{\int \times dx^2 + dy^2}$, & cette expression convient

aussi à l'impulsion que reçoit la seconde zone formée par HF, supposé que dx & dy désignent HL & LF. Mais enfin lorsque les deux petits côtés DH & HF prendront la

disposition Dh & hF, la petite impulsion $\frac{\pi y dy^3}{\int \times dx^2 + dy^2}$ aug-

mentera à l'égard d'une des petites zones & diminuera à l'égard de l'autre. Le changement particulier à l'égard de

chacune sera $\frac{2\pi y dy^3 dx ddx}{\int \times dy^2 + dx^2}$; d'où il suit que le changement

sur les deux sera $\frac{2\pi y dy^3 dx ddx}{\int \times dy^2 + dx^2} - \frac{2\pi y dy^3 dx ddx}{\int \times dy^2 + dx^2}$ & c'est la va-

leur de dI dont nous avons besoin en dernier lieu.

Ainsi rien ne nous empêche maintenant de transformer

la premiere équation du Problème $\frac{dP\sqrt{V}M}{\sqrt{V}i\sqrt{D}\sqrt{I} + \sqrt{V}i\sqrt{f}lM} =$

$\frac{\frac{1}{2}\sqrt{V}i\sqrt{D} \times M \times P \times dI - \frac{1}{2}\sqrt{V}i\sqrt{D} \times I \times P \times dM}{\sqrt{I} \times M^{\frac{3}{2}} \times \sqrt{V}i\sqrt{D}\sqrt{I} + \sqrt{V}i\sqrt{f}lM}$ en cette autre

$$\frac{\frac{\pi}{2} y dy ddx \sqrt{V}M}{\sqrt{V}i\sqrt{D}\sqrt{I} + \sqrt{V}i\sqrt{f}lM}$$

$$\frac{\frac{1}{2}\sqrt{V}i\sqrt{D} \times M \times P \times \frac{2\pi y dy^3 dx ddx}{\int \times dy^2 + dx^2} - \frac{1}{2}\sqrt{V}i\sqrt{D} \times I \times P \times \frac{2\pi y dy^3 dx ddx}{\int \times dy^2 + dx^2}}{\sqrt{I} \times M^{\frac{3}{2}} \times \sqrt{V}i\sqrt{D}\sqrt{I} + \sqrt{V}i\sqrt{f}lM}$$

$$\frac{\frac{1}{2}\sqrt{V}i\sqrt{D} \times M \times P \times \frac{2\pi y dy^3 dx ddx}{\int \times dy^2 + dx^2} - \frac{1}{2}\sqrt{V}i\sqrt{D} \times I \times P \times \frac{2\pi y dy^3 dx ddx}{\int \times dy^2 + dx^2}}{\sqrt{I} \times M^{\frac{3}{2}} \times \sqrt{V}i\sqrt{D}\sqrt{I} + \sqrt{V}i\sqrt{f}lM}$$

qui se change par la transposition, & lorsqu'on multiplie

Fig. 119.

par $\sqrt{I} \times M^{\frac{3}{2}} \times \sqrt{\sqrt{i} \sqrt{D} \sqrt{I} + \sqrt{2} f l M}$ & qu'on divise par ddx , en $\frac{\pi}{2} y dy \times M \sqrt{I} \times \sqrt{\sqrt{i} \sqrt{D} \sqrt{I} + \sqrt{2} f l M} + \frac{1}{2} \sqrt{\sqrt{i} \sqrt{D} \times I \times P \times y^2 dy} = \sqrt{\sqrt{i} \sqrt{D} \times M \times P} \times \frac{-y dy^3 dx}{\sqrt{\sqrt{2} \times dy^2 + dx^2}} - \frac{-y dy^3 dx}{\sqrt{\sqrt{2} \times dy^2 + dx^2}}$

qui doit regner sur routes les parties de la courbe RT du conoïde que nous voulons déterminer. J'integre cette dernière équation, en remarquant que la quantité

$\frac{-y dy^3 dx}{\sqrt{\sqrt{2} \times dy^2 + dx^2}} - \frac{-y dy^3 dx}{\sqrt{\sqrt{2} \times dy^2 + dx^2}}$, contenue dans le second mem-

bre est la différentielle de $\frac{-y dy^3 dx}{\sqrt{\sqrt{2} \times dy^2 + dx^2}}$, puis qu'elle est

l'excès de la grandeur $\frac{-y dy^3 dx}{\sqrt{\sqrt{2} \times dy^2 + dx^2}}$, qui appartient à une des

zones sur la même grandeur qui appartient à la zone immédiatement suivante. L'équation prend par l'intégration, sans qu'il soit nécessaire d'y rien ajouter, la forme ordinaire des équations différentielles, $\frac{\pi}{2} y^2 \times M \sqrt{I} \times \sqrt{\sqrt{i} \sqrt{D} \sqrt{I} + \sqrt{2} f l M} + \frac{1}{6} \sqrt{\sqrt{i} \sqrt{D} \times I \times P \times y^3} = \sqrt{\sqrt{i} \sqrt{D} \times M \times P} \times$

$\frac{-y dy^3 dx}{\sqrt{\sqrt{2} \times dy^2 + dx^2}}$ qui se réduit à $3 \pi y \times M \sqrt{I} \times \sqrt{\sqrt{i} \sqrt{D} \sqrt{I} + \sqrt{2} f l M} + \frac{1}{2} \sqrt{\sqrt{i} \sqrt{D} \times I \times P \times y^2} = 6 \pi \sqrt{\sqrt{i} \sqrt{D} \times M \times P} \times$

$\frac{dy^3 dx}{\sqrt{\sqrt{2} \times dy^2 + dx^2}}$; & si on prend une variable z qui soit telle par

rapport à la constante a , que $dx = \frac{z dy}{a}$, on trouvera $y = -$

$\frac{3 \pi M \times \sqrt{\sqrt{i} \sqrt{D} \sqrt{I} + \sqrt{2} f l M}}{2 \sqrt{\sqrt{i} \sqrt{D} \sqrt{I} \times P}} + \sqrt{\frac{2 \pi^2 M^2 \times \sqrt{\sqrt{i} \sqrt{D} \sqrt{I} + \sqrt{2} f l M}}{4 \pi^2 \sqrt{i} \times D \times I \times P^2}}$

$+ \frac{6 \pi M \times a^2 z}{\sqrt{\sqrt{2} \times dy^2 + dx^2}}$. Il ne reste plus après cela qu'à chercher

en différentiant, la valeur de dy & à l'introduire dans l'équation $dx = \frac{z dy}{a}$, pour avoir dx . Il vient $x =$

$$\frac{3 \cdot M}{I \times I} \times \frac{a^4 x dz - 3 a^2 z^3 dz}{a^2 + z^2} \int \frac{\sqrt{2^{22} M^2 \times \sqrt{V i \sqrt{D V I + \sqrt{V^2 f l M}}}}}{4^{12} \sqrt{i \times D \times I \times P^2}} + \frac{6 \cdot M a^3 z}{I \times I \times a^2 + z^2} \text{. Ainsi on}$$

a donc la relation par rapport à z des abscisses x & des ordonnées y du conoïde le plus simple, qui est propre à former la prouë du plus grand mouvement. Il est évident qu'on pourra toujours trouver autant de différentes valeurs de ces abscisses & de ces ordonnées, qu'on attribuera de diverses grandeurs à la variable z .

III.

Le Problème sera incomparablement moins compliqué dans le cas qui nous interesse particulièrement, ou lorsque la prouë au lieu d'être un conoïde, sera simplement terminée par une surface courbe de haut en bas & inclinée en avant, comme nous le souhaitons à l'égard du Navire de la figure 122. Alors la différentielle dM sera nulle, puisque la figure de la prouë ne changera rien aux largeurs du Navire. Les deux autres différentielles dP & dI subsisteront toujours; mais elles seront plus simples. Je n'ai que faire d'avertir que la prouë étant terminée par une surface DP , la ligne droite GP deviendra courbe, & que x désigne les abscisses ou parties de son axe GO & y ses ordonnées qui sont verticales & paralleles à OP . Cela supposé, la différentielle dP de la pesanteur P , au lieu d'être égale à $\frac{2}{3} y dy ddx$ sera simplement égale à $2c dy ddx$; c'est-à-dire, à l'étendue des deux petits triangles $dy ddx$ que produit le renflement de la prouë ou le changement de disposition des deux petits côtés consecutifs de GP devenue ligne courbe, multipliée par DG ou par $2c$, qui est la largeur de la carène. Par la même raison l'impulsion sur une zone, qui étoit $\frac{y dy^3}{I \times dx^2 + dy^2}$ lorsque cette zone étoit circulaire,

Fig. 122.

Fig. 122. sera actuellement $\frac{2cdy^3}{dy^2 + dx^2}$. Le sinus de l'angle d'incidence est le même, mais la zone étant rectiligne dans le sens horisontal & ayant pour longueur la largeur $2c$ de la prouë, il faut multiplier le quarré du sinus de l'angle d'incidence par $2cdy$ pour avoir l'impulsion relative directe $\frac{2cdy^3}{dy^2 + dx^2}$ selon le sens de l'axe. Il suit de là que la différen-

tielle dI , est $\frac{4cdy^3 dx ddx}{dy^2 + dx^2} - \frac{4cdy^3 dx ddx}{dy^2 + dx^2}$, & si on introduit ces

nouvelles différentielles dans la premiere équation, on aura

$$\frac{2cdy ddx \sqrt{V} \sqrt{M}}{\sqrt{Vi} \sqrt{D} \sqrt{I} + \sqrt{V_2} f l M} = \frac{2c \sqrt{Vi} \sqrt{D} \times M \times P}{\sqrt{I} \times M^{\frac{1}{2}} \times \sqrt{Vi} \sqrt{D} \sqrt{I} + \sqrt{V_2} f l M}$$

$$\times \frac{dy^3 dx ddx}{dy^2 + dx^2} - \frac{dy^3 dx ddx}{dy^2 + dx^2} \text{ qui se reduit par des opérations}$$

semblables à celles que nous avons employées il n'y a

qu'un moment, à $y \sqrt{I} \times \sqrt{Vi} \sqrt{D} \sqrt{I} + \sqrt{V_2} f l M = \sqrt{Vi} \sqrt{D}$

$\times P \times \frac{dy^3 dx}{dy^2 + dx^2}$. Introduisant ensuite $\frac{z dy}{a}$ à la place de dx ,

on a $y = \frac{\sqrt{Vi} \sqrt{D} \times P}{\sqrt{Vi} \sqrt{D} \times I + \sqrt{I} \sqrt{V_2} f l M} \times \frac{a^3 z}{a^2 + z^2}$; d'où repassant

à dx , on trouve $x = \frac{\sqrt{Vi} \sqrt{D} \times P}{\sqrt{Vi} \sqrt{D} \times I + \sqrt{I} \sqrt{V_2} f l M} \int \frac{a^4 z dz - 3a^2 z^3 dz}{a^2 + z^2}$;

ce qui refout entierement la question, & ce qui oblige simplement d'avoir recours aux logarithmes ou à la quadrature de l'hyperbole.

Nous avons faisi exprès pour en faire l'origine de notre courbe le terme où la quantité $\frac{a^3 z}{a^2 + z^2}$ est égale à zéro: mais

cette quantité en augmentant parvient à son *maximum*, lorsque $z = a\sqrt{\frac{1}{3}}$ & diminue ensuite; & si on prend ce *maximum* pour en faire l'origine de la courbe, le second mem-

bre de la formule $y = \frac{\sqrt{Vi} \sqrt{D} \times P}{\sqrt{Vi} \sqrt{D} \times I + \sqrt{I} \sqrt{V_2} f l M} \times \frac{a^3 z}{a^2 + z^2}$ ira

en

en diminuant à mesure qu'on fera augmenter z , & il faudra donc aussi faire diminuer le premier membre. Il suffira pour cela de prendre e pour la plus grande valeur de y , ou pour l'ordonnée OP (Fig. 121.) & on aura alors $e - y$

Fig. 122.

$$= \frac{\sqrt{vi} \sqrt{D} \times P}{\sqrt{vi} \sqrt{D} \times I + \sqrt{I} \sqrt{v} \sqrt{f} I M} \times \frac{a^3 z}{a^2 + z^2}. \text{ On peut enter cette}$$

nouvelle courbe à l'extrémité de la première: car la propriété qu'elles ont est non-seulement commune à chaque partie, elle subsiste encore lorsqu'on éloigne ou qu'on rapproche la courbe de son axe, en changeant toutes ses ordonnées d'une quantité égale. On le verra évidemment, aussi-tôt qu'on fera attention que cette transposition ne change rien dans la loi qu'observent entr'elles les différentielles de la pesanteur P , de l'impulsion I , &c. J'ai non-seulement calculé les dimensions de la courbe entière en joignant les deux parties, j'ai suputé aussi les impulsions que souffrent tous les arcs à commencer dès l'origine. Le tout est exprimé dans la Table suivante, mais il faut se ressouvenir que c'est en millièmes de l'unité.

T A B L E

Des dimensions de la prouë du plus grand mouvement.

Abcisses ou longueurs de l'axe. de la prouë.	Ordonnées ou profondeur de la prouë.	Impulsions.	Abcisses ou longueurs de l'axe. de la prouë.	Ordonnées ou profondeur de la prouë.	Impulsions.
0	0	0	259	508	397
1	50	50	284	524	402
5	98	97	307	538	406
18	185	182	328	550	409
35	252	245	349	561	411
50	297	285	365	570	413
61	320	304	381	578	414
63	325	308	412	592	417
69	335	316	437	602	418
83	352	327	457	610	419
102	375	340	486	620	420
126	400	354	511	628	421
152	425	365	541	636	422
179	448	375	586	645	422
206	470	384	612	649	422
233	490	391	628	650	422

On juge assez que c'est le coefficient $\frac{VViVD \times P}{VViVD \times I + ViV \sqrt{2f} M}$

qui multipliant également la valeur des abscisses & des ordonnées, règle le choix qu'on doit faire des diverses parties de la courbe. Si on évaluë tout en pieds de Roy & en livres, on pourra mettre à la place de i , de D , de I les mêmes nombres que dans le Chapitre précédent. Le moment M doit être multiplié par 72 livres qui est le poids du pied cubique d'eau de mer, & comme il n'y a guere que la sixième partie de ce moment qui fasse effet, on aura $12M$ pour fM , & par conséquent $f=12$. Il ne sera pas difficile non plus de trouver l'impulsion I ; on y réussira par une simple analogie. Suposé qu'on veuille employer la par-

tie de la courbe qui est comprise depuis l'ordonnée 550 jusqu'à l'ordonnée 602; cette partie souffre une impulsion qui est exprimée par 9, excès de 418 sur 409; & si la plus grande ordonnée ou profondeur OP de la prouë est de 20 pieds, il faudra faire cette proportion; 52 différence des ordonnées de la Table est à 20 pieds, comme 9 est à $\frac{16}{11}$ qu'il ne restera plus qu'à multiplier par la largeur (40) de la prouë, pour avoir l'impulsion I qui sera de $138\frac{6}{11}$. Enfin il est évident qu'on n'aura trouvé la portion de la courbe dont on doit se servir, que lorsque la partie de l'ordonnée qui lui répond & qui est comme je l'ai dit exprimée dans la Table en millièmes de l'unité, donnera étant multipliée par $\frac{\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\times P}}{\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\times I} + \sqrt{I}\sqrt{\sqrt{f}LM}}$, le nombre de pieds que

doit avoir effectivement la plus grande ordonnée ou profondeur OP. C'est à-peu-près cette partie que nous venons de désigner & qui est comprise entre les ordonnées marquées par 550 & 602, qui est propre pour la Flute de 144 pieds de longueur, de 40 de largeur & 20 de profondeur. Supposé que cette Flute fut plus longue à proportion de ses autres dimensions, comme cela arrivera ordinairement, il faudroit emprunter une partie encore plus petite de la courbe pour servir de modele: car le coefficient

$\frac{\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\times P}}{\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\times I} + \sqrt{I}\sqrt{\sqrt{f}LM}}$ feroit plus grand, à cause de l'aug-

mentation de P; & ce ne seroit donc qu'en multipliant par une ordonnée plus petite de la Table, qu'on trouveroit comme on le doit, 20 pieds pour la valeur de OP. Alors la courbure de la surface de la prouë, qui est déjà si peu considerable, le feroit encore moins; & c'est ce qui est très-évident d'ailleurs. Il est clair que si le Navire étoit infiniment long, la convexité qu'on pourroit donner à la prouë ne procureroit aucune augmentation sensible à la capacité de sa cale, pendant qu'elle feroit retarder sensiblement la vitesse du sillage: ainsi sans rien gagner d'un côté, on perdrait de l'autre, & la quantité totale du mouvement se trouveroit plus petite. Il suit delà qu'il faudroit dans ce cas extrê-

Qqqq ij

Fig. 122. me s'arrêter exactement à la figure de la prouë de la moindre résistance ou de la plus grande vitesse, comme dans la figure 122. Mais on voit en même tems que dans tous les autres cas dans lesquels la prouë du plus grand mouvement differe de celle de la plus grande vitesse, la surface DP qui la termine ne doit prendre de la courbure que peu à peu, à mesure qu'on rend le Navire moins long, ou qu'on diminue sa solidité. On peut au surplus négliger toujours, si on le veut, toute cette courbure, puisque la convexité qu'elle produit par rapport à la ligne droite qui lui sert de corde, n'est jamais que la 48 ou la 50^{me}. partie de sa longueur.

I V.

Il est vrai que nous trouverions l'inflexion presque toujours un peu plus grande, si nous considérons la carène dans l'état d'heterogénéité où elle est ordinairement. Car aussi-tôt qu'on rend un peu plus convexe la surface qui termine la prouë, il faut augmenter le lest; & sa pesanteur spécifique étant plus grande que celle de l'eau marine le nombre de fois n , la force relative qu'a le Navire pour soutenir la voile augmente, comme nous l'avons démontré dans la seconde Section du Livre précédent*, du produit de l'espace ajouté par le multiple $n-1$ de la quantité dont son centre de gravité est au-dessous de la surface du lest; quoique la coupe horizontale de la carène faite à fleur d'eau, ne change ni de figure ni d'étendue. Ainsi c'est une raison de plus pour augmenter un peu plus le renflement de la prouë. Mais on doit remarquer que ce renflement effectué sur la seule extrémité de la carène, ne peut jamais être considerable par rapport à la solidité entière du Navire, & qu'il s'en faut beaucoup qu'il puisse avoir les mêmes suites que lorsque l'espace est ajouté en même tems aux deux côtés du Vaisseau, & qu'il s'étend sur toute sa longueur par laquelle il se multiplie.

Au reste, notre méthode n'est point arrêtée par cette difficulté. La petite augmentation dP que reçoit la pesanteur

* Voyez
Part. 1^{re} du
Chap. 9.

ou la solidité du Navire par le petit excès de convexité de la surface qui termine la prouë, est $2cdyddx$, & si nous faisons commencer pour plus de simplicité toutes les ordonnées y à la surface supérieure du lest, nous aurons $\frac{n-1}{n}xy \times 2cdyddx$ pour la petite augmentation que recevra le moment ou la force relative M qu'a le Navire pour soutenir la voile. Au lieu de regarder dM comme nulle, on n'a qu'à introduire $\frac{n-1}{n} \times 2cydyddx$ à sa place dans l'équation

générale $\frac{dP\sqrt{VM}}{\sqrt{Vi\sqrt{DVI} + \sqrt{V}^2 f l M}} = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{Vi\sqrt{D} \times M \times P \times dl} - \frac{1}{2}\sqrt{Vi\sqrt{D} \times I \times P \times dM}}{\sqrt{I \times M^{\frac{1}{2}} \times \sqrt{Vi\sqrt{DVI} + \sqrt{V}^2 f l M}}}$, en même tems qu'on

fera les autres substitutions. On trouvera $y = \frac{4M \times \sqrt{Vi\sqrt{DVI} + \sqrt{V}^2 f l M}}{(n-1) \times \sqrt{Vi\sqrt{DVI} \times P}} + \sqrt{\frac{16M^2 \times \sqrt{Vi\sqrt{DVI} + \sqrt{V}^2 f l M}}{(n-1) \times Vi \times D \times I \times P^2}}$
 $+ \frac{8M}{n-1 \times I} \times \frac{a^3 z}{a^2 + z^2}$ & $x =$

$\frac{4M}{n-1 \times I} \times \frac{a^4 z dz - 3a^2 z^3 dz}{a^2 + z^2}$, pour les
 $\int \sqrt{\frac{16M^2 \times \sqrt{Vi\sqrt{DVI} + \sqrt{V}^2 f l M}}{(n-1) \times Vi \times D \times I \times P^2}} + \frac{8M}{n-1 \times I} \times \frac{a^3 z}{a^2 + z^2}$

ordonnées & les abscisses de la courbe qui est la correspondante de celle que nous avons trouvée la première dans l'article précédent, mais qui ne convenoit qu'au seul cas particulier dans lequel la pesanteur totale du Vaisseau a le même centre de gravité que sa carène, ou au moins dans lequel les nouveaux poids qu'il faut ajouter à la charge, lorsqu'on augmente la solidité de la carène, agissent toujours exactement dans le centre de gravité des espaces ajoutés. Nous n'avons encore que la partie de la courbe qui sert à former la prouë au-dessous de la surface du lest; mais il n'est pas plus difficile de déterminer l'autre. Il est remarquable que la prouë doive, dans la rigueur, avoir des

formes différentes , non-seulement selon les divers efforts du vent sur les voiles; mais aussi selon que la charge du Navire est d'une pesanteur spécifique, plus ou moins grande, & que son arrangement fait qu'elle monte plus ou moins haut dans la cale. Il est vrai que cette singularité en est moins une , depuis que nous avons vu quelque chose de semblable à l'égard de la figure de la poupe , & même à l'égard de la coupe du Navire faite perpendiculairement à sa longueur.

V.

Nous ajouterons une dernière remarque , qui est d'une trop grande importance pour que nous l'oublions , d'autant plus que nous avons promis de la faire. Nous travaillons toujours à faire diminuer la résistance que trouve la prouë à fendre l'eau , & à faire augmenter la stabilité du Navire ou la force qu'il a pour soutenir la voile. Si nous réussissons par ces deux moyens à rendre le sillage rapide, nous réussirons aussi à faire diminuer la dérive dans les routes obliques. Cependant elle pourroit ne pas diminuer autant qu'on le souhaite; parce que sa diminution ne répond qu'à la seule partie, qui dans les figures de même genre dépend de la moindre résistance de l'eau , & non pas à celle qui est causée par la plus grande stabilité du Navire. Cette dernière qualité est même presque toujours contraire à la propriété que doit avoir le Navire de dériver peu: car le renflement de la carène dans les cas même où il est utile pour la marche , ne peut pas faire augmenter le moins du monde la résistance que trouve la prouë à fendre l'eau, sans faire augmenter au moins relativement la disposition qu'a le Navire à aller de côté. Ainsi il est à propos d'examiner toujours à part la quantité de la déviation , en cherchant l'obliquité de la route, pour une situation de voiles donnée. Il faut après tout reconnoître dans cette matière des limites malgré soi , puisqu'on ne peut pas rendre la dérive nulle , quoiqu'on puisse toujours la faire diminuer de plus en plus.

CONCLUSION.

I.

Enfin après avoir satisfait autant qu'il nous a été possible à toutes les parties de l'engagement que nous avons pris, il sera sans doute convenable de résumer ici, si non les principales choses que nous avons expliquées, au moins celles qui ont rapport à la figure du Navire. Nous ne feindrons pas de le repeter que nous croyons avoir donné des moyens infaillibles de se déterminer entre les différents avis des Constructeurs. On ne manquera plus désormais de *criterium* pour distinguer le meilleur parti ou pour bien choisir entre plusieurs plans proposés pour le même Navire. On ne se verra plus obligé de rien abandonner au hasard, en déferant à l'autorité si souvent trompeuse d'une Pratique qui n'est que grossière.

Nous avons expliqué dans le second Livre tout ce qui concerne le Vaisseau lorsqu'il flote en repos. On reconnoîtra si sa pesanteur n'est pas trop grande par rapport à la solidité de sa carène, s'il aura assez de stabilité ou de force pour porter la voile, si sa batterie inférieure sera assez élevée au-dessus de la mer; pendant que les regles que nous avons données dans le troisième Livre & qu'on pourra réduire presque toutes à des opérations purement graphiques, apprendront si le Navire doit singler avec vitesse, s'il sera sujet à peu de dérive dans les routes obliques, s'il gouvernera avec facilité. On discutera de cette sorte toutes les qualités du projet, en le mettant à l'épreuve d'un calcul qui ne coutera jamais que peu de travail. Les accidens même qui paroissent dépendre d'une cause plus irrégulière, seront soumis à la même regle: on a vu les moyens de déterminer la durée des balancemens du roulis; & quant à ceux du tangage on en jugera avec facilité, en examinant la distribution de la pesanteur, & la manière dont elle est soutenue dans tous les cas particuliers.

Le Géometre laborieux ne tardera pas à se trouver dispensé par les connoissances de fait qu'il aura bien-tôt acquises , de recommencer continuellement ses suputations , ou de les pousser jusques dans le dernier détail. Il pourra outre cela faire quelques essais sur des Navires déjà construits pour s'en servir comme de terme de comparaison. Ces experiences lui apprendront en un instant diverses choses qu'il auroit beaucoup plus de peine à découvrir par toute autre voye ; & il lui suffira lorsqu'il s'agira de tout autre Vaisseau, de tenir compte de la différence ou de faire attention à toutes les causes nécessaires de changemens.

I I.

Nous ne nous sommes pas bornés à distinguer entre un nombre toujours trop limité de projets ou de plans ceux qui ne sont peut-être que les moins mauvais : nous nous sommes proposés d'aller saisir dans l'infinité même de toutes les formes possibles celles qui sont absolument les meilleures. Lorsque la disposition de différentes parties, contribue à porter plus loin une certaine propriété , nous avons cherché la combinaison la plus avantageuse , en déterminant le *maximum*. On pourra désormais faire prévaloir sûrement laquelle des propriétés on voudra , & on sçaura en même tems jusqu'à quel point sera portée chaque autre.

On a vu que la plus grande coupe , ou que l'endroit le plus gros de la carène doit se placer à environ $\frac{1}{4}$ de la longueur , à commencer de la prouë : c'est la position qu'on doit donner à cette coupe pour augmenter le plus qu'il se peut l'effet du gouvernail. Si on veut rendre le Navire plus facile à gouverner par le moyen des voiles , il faudra porter l'endroit le plus gros un peu plus vers l'avant ; mais alors la prouë deviendra plus obtuse , & on préjudiciera en même tems & à la promptitude du sillage & à la propriété que doit avoir le Navire d'être sujet à peu de dérive dans les routes obliques. On s'est assez convaincu , non pas de la simple difficulté , mais de l'impossibilité de
satisfaire

satisfaire également à ces quatre conditions. Ne pouvant pas les concilier d'une manière parfaite, il faut absolument pour ne pas trop perdre d'un des avantages, se résoudre à perdre aussi un peu des autres; & il paroît que le parti le plus sûr, est d'embrasser ordinairement la disposition qui favorise l'action du gouvernail, parce qu'elle tient une espece du milieu entre les autres.

On a expliqué dans le premier Livre plusieurs methodes de tracer la coupe du Navire faite perpendiculairement à sa longueur dans cet endroit le plus gros. Ces methodes peuvent servir; mais on les modifiera par les remarques que nous avons faites dans le second & dans le troisième Livre. Supposé qu'on ne puisse pas se résoudre à abandonner les pratiques ordinaires, & qu'on n'ose pas aller tout d'un coup jusqu'au dernier terme du meilleur. Il est toujours à souhaiter que la carène ne soit que très-peu grosse par raport à sa longueur: la chose est de la plus grande importance, & merite toute l'attention des Constructeurs. La coupe dans l'endroit le plus gros doit avoir la figure d'un trapeze qui deviendra un rectangle ou un triangle, dans les deux cas extrêmes. Elle doit être un triangle pour les Frégates les plus légères, & on la fera en rectangle dans les bâtimens de transport, afin d'augmenter la grandeur de leur charge.

C'est par la même raison qu'il faut aussi séparer dans ces derniers Navires la prouë de la poupe par une portion de la carène qui conserve sensiblement la même grosseur sur une longueur considerable, & qui soit au moins un cinquième de celle du tout. Les regles vulgaires n'ont jamais mieux réussi que dans la construction de ces sortes de bâtimens: il ne reste que très-peu à reformer sur la figure des Flutes dont se servent les Nations Septentrionales; mais ces mêmes regles ont entierement manqué les Frégates & encore plus les Corvettes dont la prouë & la poupe doivent commencer à se retrecir ou à diminuer de grosseur en partant même de la premiere coupe qui les sépare. Les Navires de guerre tiennent comme le milieu entre les

Rrrr

précédens ; ce sont des bâtimens de charge , mais dont le grand poids est située d'une maniere aussi particuliere qu'incommode. Leur centre de gravité étant trop près de leur méracentre , il faut les rendre plus larges que les autres Navires ; ce qui est également nécessaire pour le service de leur artillerie.

Les principales dimensions étant arrêtées , on conduira la courbure des *lisses* & on achevera l'ouvrage. On emploiera les methodes d'aproximation que nous avons indiquées dans le Chapitre XI de la premiere Section du premier Livre , ou bien on se conformera aux Tables que nous avons eu le soin de calculer & d'inserer dans la derniere Section de ce Traité , afin d'inviter encore mieux la pratique à recevoir toutes les instructions que lui offroit la Théorie. Nous ne disons rien de la mâture ; ses dimensions auront été réglées d'avance. Enfin le Navire singlera non-seulement avec la plus grande vireffe , il navigera avec toute la sureté qui dépend du raport parfait qu'on pouvoit mettre entre toutes ses parties.

F I N.

Del'imprimerie de J. CHARDON.

CORRECTIONS A FAIRE.

- P** *Age xxvij* dans la Préface, ligne 4, lisez n'en est plus un.
- 15 ligne 7, par cette raison, ajoutez ou parce qu'on a souvent rendu les varangues de l'avant & de l'arrière, égales entr'elles, jusqu'à une certaine distance.
- 29 lig. 12, effacés ne.
- 39 lig. 20, lisez réussi aussi parfaitement.
- 49 lig. 22, lisez la coupe PmD.
- 64 lig. penultième, lisez irrégulier.
- 64 lig. dernière après le mot rectangle, ajoutez & ce conoïde peut trouver un cinquième ou un quart plus de facilité à fendre l'eau que la proue de la figure 21, dont l'étrave n'a point d'élanement.
- 70 lig. penultième, lisez l'extrémité D du corps de la carène.
- 75 lig. 33, lisez beaucoup plus sûre.
- 85 lig. 30, lisez lorsqu'il y en a un second.
- Page 93 lig. 19, lisez verser de l'eau.
- 115 lig. dernière, lisez $\sqrt{\frac{1}{R}}$ est à $\sqrt{\frac{1}{P}}$.
- 153 lig. 33, lisez de la tête de chacune de.
- 154 lig. dernière, lisez à ces rectangles; & un.
- 158 lig. 30 & 31, lisez (Fig. 41.)
- 159 lig. 34, lisez à une force de.
- 160 lig. 18, lisez la lier avec.
- 161 lig. 20 & 21, lisez une autre considération.
- 163 lig. 10, lisez elle résistera 27 fois.
- 167 lig. 22, lisez on la.
- 182 lig. 29, lisez voile ABDC.
- 185 lig. 10, lisez à la puissance $\frac{4}{3}$;
- 190 lig. 30, lisez à former de faisseaux.
- 216 lig. penultième, lisez les uns au-dessus.
- 227 lig. 11, lisez c'est de.
- 233 lig. 6, lisez. On pourroit même pour.
- 243 lig. 7, effacez que.
- 244 lig. 3, lisez recueillies de toutes parts.
- 245 lig. 31, lisez dans le second terme du numérateur de l'expression algébrique, + se.
- 247 lig. 2, lisez on a cette autre. Lig. 3 lisez l'étendue A de la.
- 253 lig. 15, lisez & on multipliera l'étendue.

Page 255 lig. 28 , lisez que I.

257 lig. 21 & 30 , lisez verticale γZ .

259 lig. dernière , lisez le quatrième.

263 ligne 14 , dans l'expression algébrique , lisez \overline{FB} .

Page 266 ligne 3 , lisez difficile , ou plutôt il n'étoit pas possible que le.

ibid. lig. 5 & 6 , effacez , & qu'on eut sans doute l'attention de mettre en bas les choses les plus pesantes.

283 lig. 21 , lisez peu à peu.

311 lig. 15 effacez de la surface.

315 lig. 5 , lisez G1. Lig. 19 , lisez puisse soutenir le Navire.

316 lig. 18 , lisez eg , Eg d'une hyperbole. Ligne 27 , lisez ou EG.

317 lig. 14 , lisez CB & CI.

328 lig. dernière , lisez selon gZ.

337 , dans la note de la marge , lisez Chapitre IV.

357 lig. 20 , lisez avec moins de.

366 lig. 10 & 11 , lisez tiers de BC.

368 lig. antepenultième & penultième , lisez. Si nous considérons le.

377 lig. première , lisez on peut le. Lig. dernière à la fin , lisez de n^y .

408 lig. dernière , ajoutez à la fin , toutes les fois que nous voudrons choisir entre des prouës de même genre.

415 lig. 11 , lisez la résistance directe ; lig. 12 la résistance latérale.

442 lig. 12 , lisez sa vraie direction.

468 lig. 3 & 4 lisez Chapitre VI.

516 lig. 19 , lisez ne change.

532 lig. 18 , lisez ou de 96.

537 lig. 32 , lisez ces deux efforts.

541 lig. 27 , lisez troisième Livre.

573 lig. 20 , lisez BE & EC.

579 lig. 11 , lisez la perpendiculaire.

605 lig. 28 , lisez XV.

621 lig. 19 & 20 lisez comme les x & les.

644 lig. 29 , lisez ait le plus de.

665 lig. antepenultième , lisez de cette troisième prouë.

On a négligé d'indiquer quelques autres fautes auxquelles le Lecteur supplera par son attention.

*Extrait des Registres de l'Académie Royale des Sciences
du 12 May 1745.*

Messieurs Nicole & Clairaut qui avoient été nommés pour examiner un Ouvrage de M. Bouguer, intitulé , *Traite du Navire , de sa construction & de ses mouvemens* , en ayant fait leur rapport ; l'Académie a jugé cet Ouvrage digne de l'impression , en foy de quoi j'ai signé le présent Certificat. A Paris ce 15 May 1745.

GRANDJEAN DE FOUCHY.

P R I V I L E G E D U R O Y .

LOUIS par la grace de Dieu Roy de France & de Navarre : A nos amez & teaux Conseillers, les Gens tenans nos Cours de Parlement, Maîtres des Requêtes ordinaires de notre Hôtel, Grand Conseil, Prevôt de Paris, Baillifs, Sénéchaux, leurs Lieutenans Civils, & autres nos Justiciers qu'il appartiendra, Salut. Notre bien amé & feal le *Sieur Jean-Paul Bignon, Conseiller ordinaire en notre Conseil d'Etat, & President de notre Académie Royale des Sciences*, Nous ayant fait très-humblement exposer, que depuis qu'il nous a plu donner à notredite Académie, par un Reglement nouveau, de nouvelles marques de notre affection, elle s'est appliquée avec plus de soin à cultiver les Sciences, qui sont l'objet de ses exercices; ensorte qu'outre les Ouvrages qu'elle a déjà donnés au Public, elle seroit en état d'en produire encore d'autres, s'il nous plaisoit lui accorder de nouvelles Lettres de Privilege, attendu que celles que nous lui avons accordées en datte du 6 Avril 1699. n'ayant point de tems limité, ont été déclarées nulles par un Arrêt de notre Conseil d'Etat du 13 Août 1713. Et désirant donner au *Sieur Exposant* toutes les facilités & les moyens qui peuvent contribuer à rendre utiles au Public les travaux de notredite Académie Royale des Sciences, Nous avons permis & permettons par ces Présentes à ladite Académie, de faire imprimer, vendre ou débiter dans tous les lieux de notre obéissance, par tel Imprimeur qu'elle voudra choisir, en telle forme, marge, caractère, & autant de fois que bon lui semblera, *toutes ses Recherches ou Observations journalieres, & Relations annuelles de tout ce qui aura été fait dans les Assemblées*, comme aussi les *Ouvrages, Memoires ou Traites de chacun des Particuliers qui la composent*, & généralement tout ce que ladite Académie voudra faire paroître sous son nom, après avoir fait examiner lesdits Ouvrages, & jugé qu'ils sont dignes de l'impression; & ce pendant le tems de quinze années consécutives, à compter du jour de la datte desdites Présentes. Faisons défenses à toutes sortes de personnes de quelque qualité & condition qu'elles soient, d'en introduire d'impression étrangere dans au-

eun lieu de notre Royaume ; comme aussi à tous imprimeurs, Libraires
 & autres, d'imprimer, faire imprimer, vendre, faire vendre, débiter
 ni contrefaire aucun desdits Ouvrages imprimés par l'Imprimeur de la-
 dite Académie ; en tout ni en partie, par extrait ou autrement, sans le
 consentement par écrit de ladite Académie, ou de ceux qui auront droit
 d'eux : à peine contre chacun des contrevenans de confiscation des
 Exemplaires contrefaits au profit de sondit Imprimeur : de trois mille
 livres d'amende, dont un tiers à l'Hôtel-Dieu de Paris, un tiers audit
 Imprimeur, & l'autre tiers au Dénonciateur, & de tous dépens, dom-
 mages & intérêts ; à condition que ces Présentes seront enregistrées
 tout au long sur le Registre de la Communauté des Imprimeurs & Li-
 braires de Paris, & ce dans trois mois de ce jour : que l'impression de
 chacun desdits Ouvrages sera faite dans notre Royaume & non ailleurs,
 & ce en bon papier & beaux caractères, conformément aux Reglemens
 de la Librairie ; & qu'avant de les exposer en vente, il en sera mis de
 chacun deux Exemplaires dans notre Bibliothèque publique, un dans
 celle de notre Château du Louvre, & un dans celle de notre très-cher
 & féal Chevalier Chancelier de France le Sieur Daguesseau ; le tout à
 peine de nullité des Présentes. Du contenu desquelles vous mandons &
 enjoignons de faire jouir ladite Académie, ou ses ayans cause, pleine-
 ment & paisiblement, sans souffrir qu'il leur soit fait aucun trouble ou
 empêchement. Voulons que la copie desdites Présentes qui sera imprimee-
 au commencement ou à la fin desdits Ouvrages, soit tenue pour
 dûment signifiée, & qu'aux copies collationnées par l'un de nos amés
 & feaux Conseillers & Secretaires, foi soit ajoutée comme à l'original.
 Commandons au premier notre Huissier ou Sergent de faire pour l'exé-
 cution d'icelles tous actes requis & nécessaires, sans demander autre per-
 mission, & nonobstant clameur de Haro, Charte Normande & Lettres
 à ce contraires. Car tel est notre plaisir. Donné à Paris le 29 jour du
 mois de Juin, l'an de grace 1717, & de notre Regne le deuxième.
 Par le Roy en son Conseil. Signé, FOUQUET.

Il est ordonné par l'Edit du Roy du mois d'Août 1686. & Arrêt de son Conseil,
 que les Livres dont l'impression se permet par Privilege de Sa Majesté, ne pour-
 ont être vendus que par un Libraire ou Imprimeur.

*Registré le present Privilege, ensemble la Cession écrite ci-dessous, sur le Registre
 IV. de la Communauté des Imprimeurs & Libraires de Paris, p. 155. N. 205. con-
 formement aux Reglemens, & notamment à l'Arrêt du Conseil du 13 Août 1703. A
 Paris le 3 Juillet 1717.* Signé, DELAUNE, Syndic.

Nous soussigné Président de l'Académie Royale des Sciences, déclarons avoir
 en tant que besoin cédé le présent Privilege à ladite Académie, pour par elle &
 les différens Académiciens qui la composent, en jouir pendant le tems & suivant
 les conditions y portées. Fait à Paris le 11. Juillet 1717, Signé, J. P. BIGNON.

Fig. 1^{re}

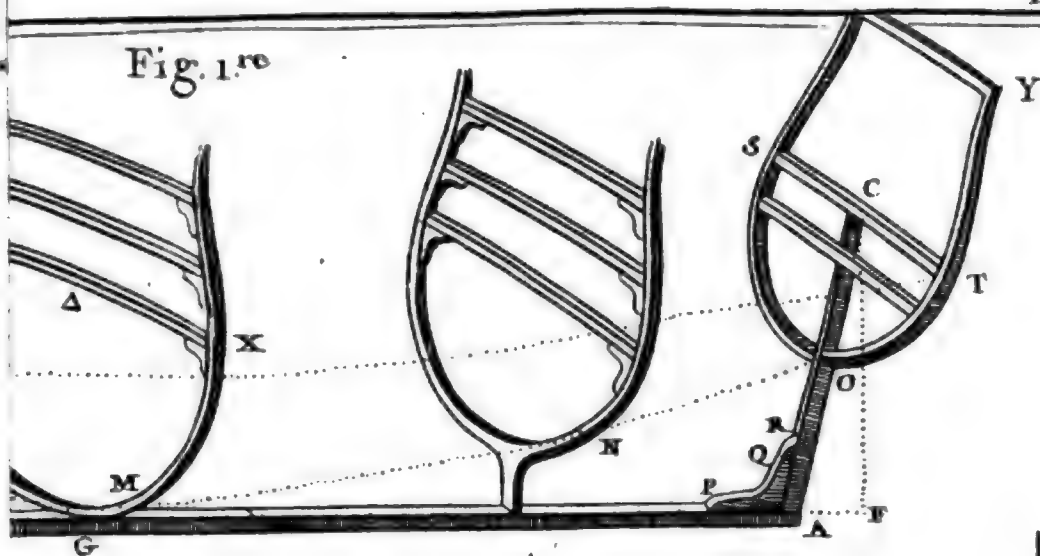


Fig. 4

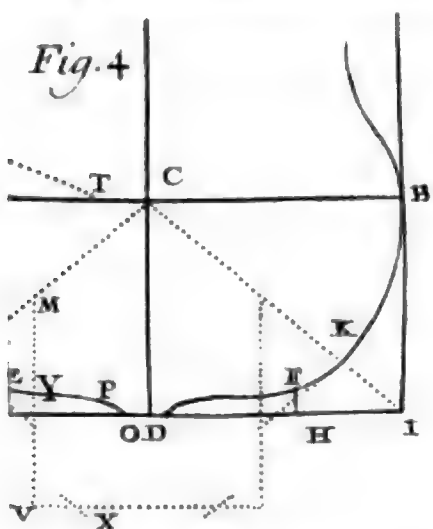


Fig. 5

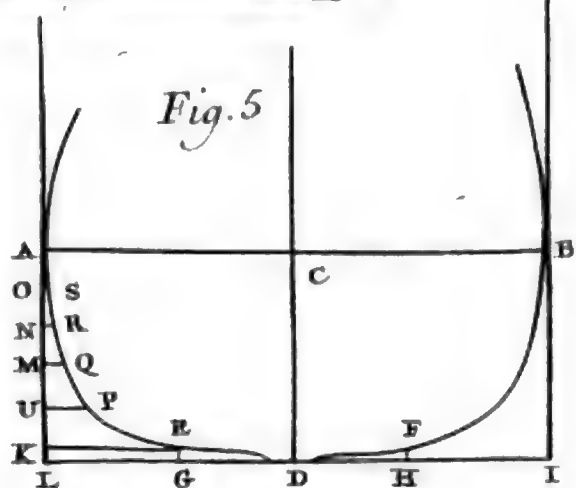


Fig. 7

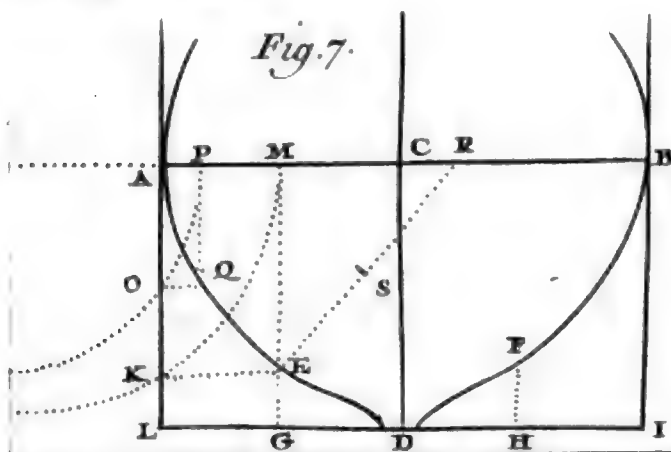
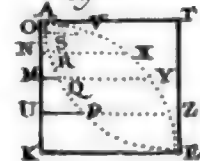
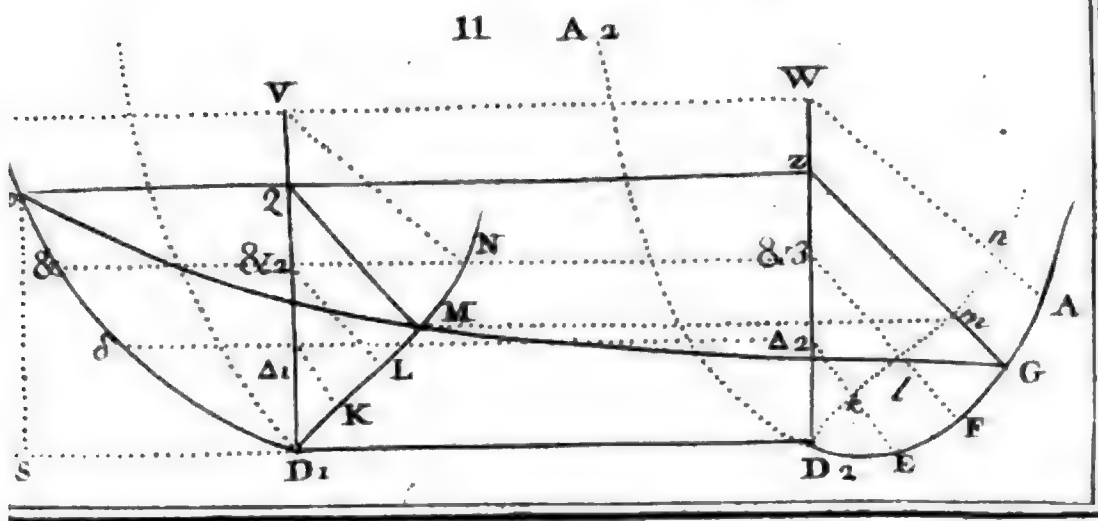
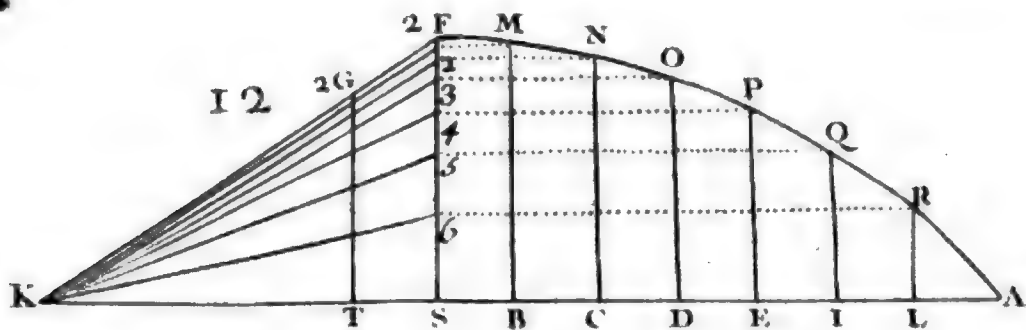
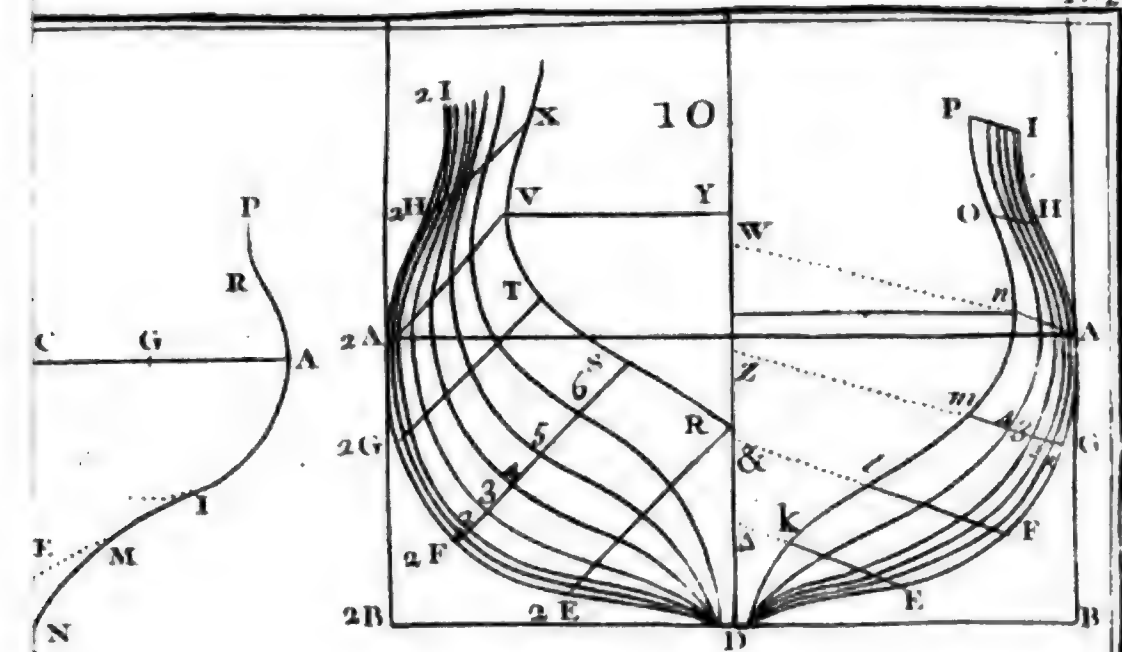


Fig. 6





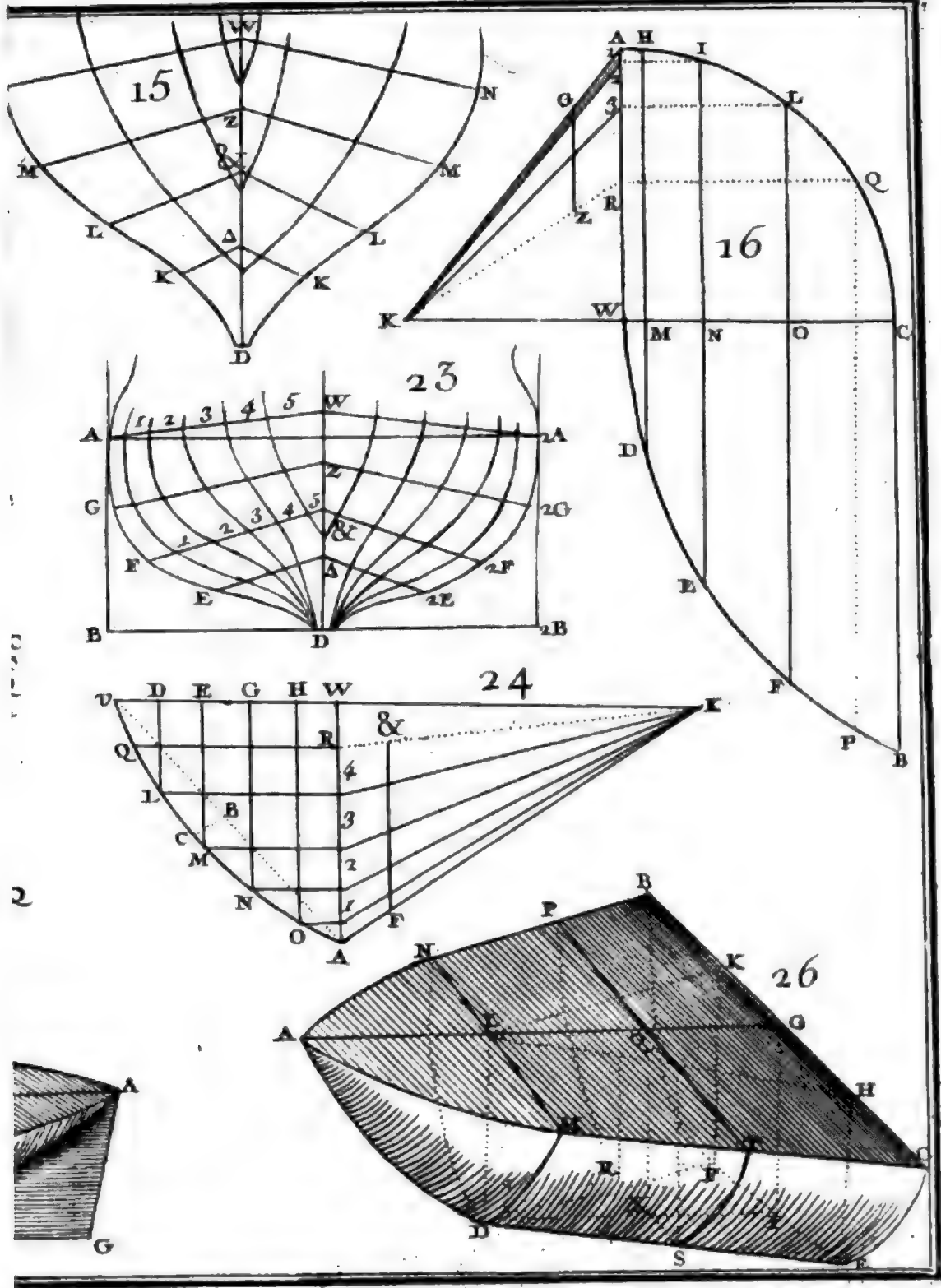




Fig. 28

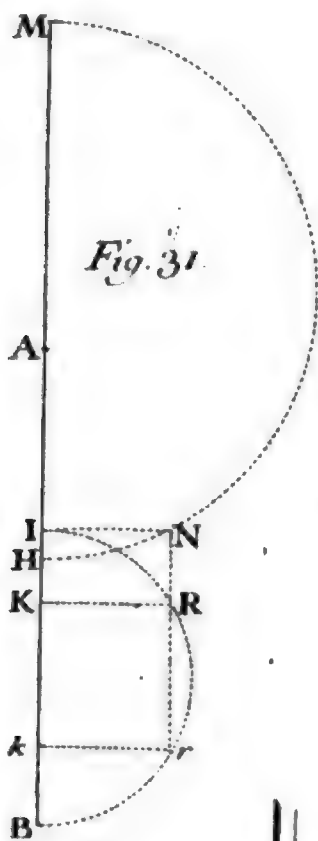


Fig. 31

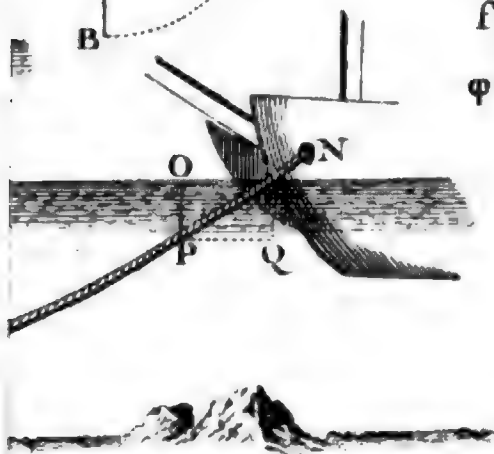


Fig. 30

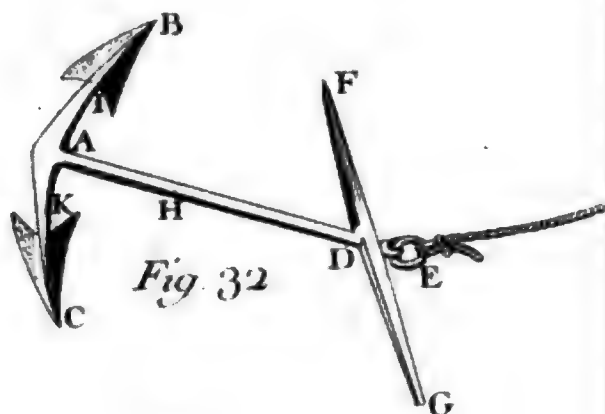


Fig. 32

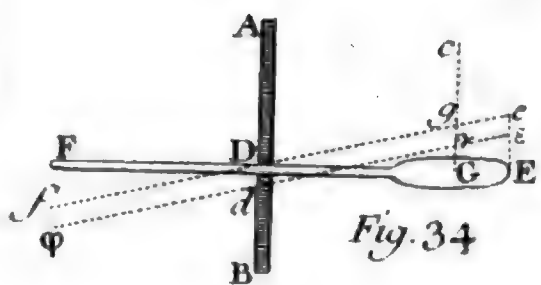


Fig. 34

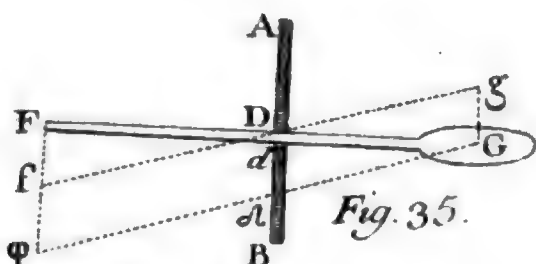


Fig. 35

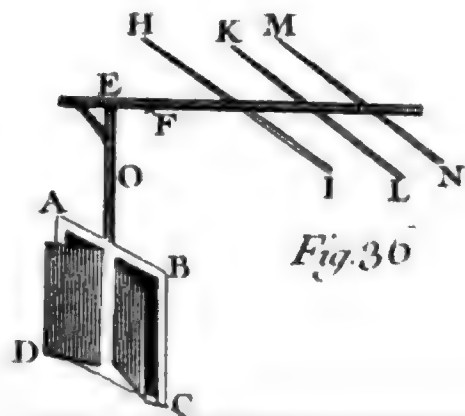


Fig. 40

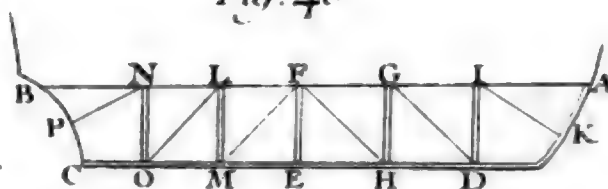


Fig. 43

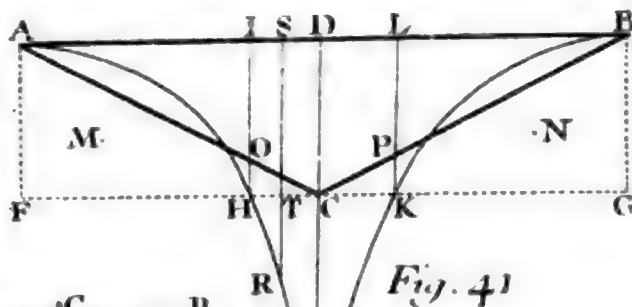
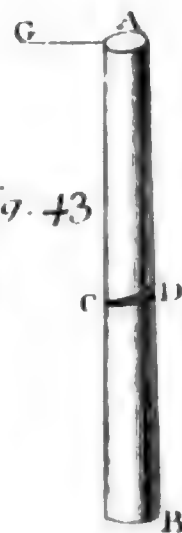


Fig. 41

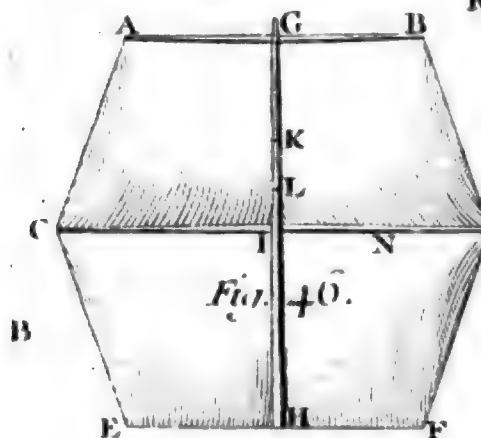
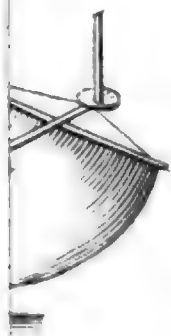


Fig. 40.

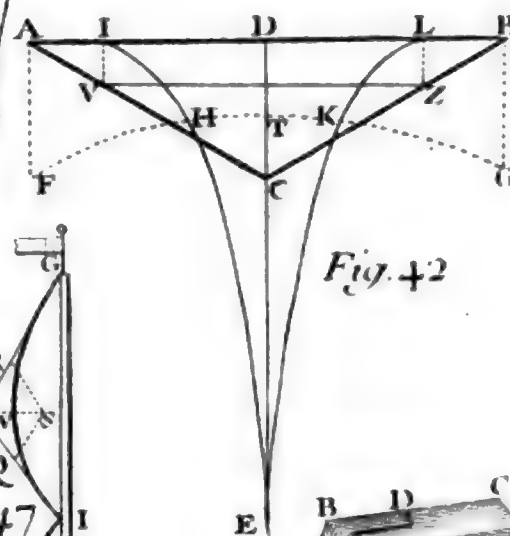


Fig. 42

Fig. 44.

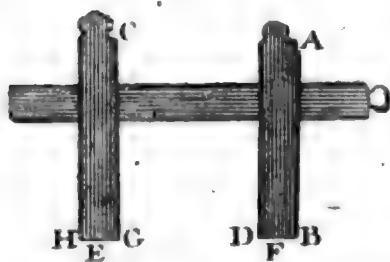


Fig. 47

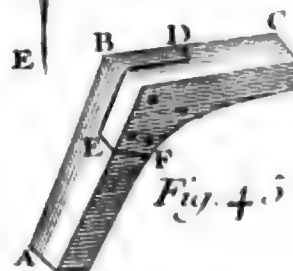
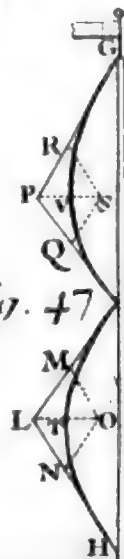
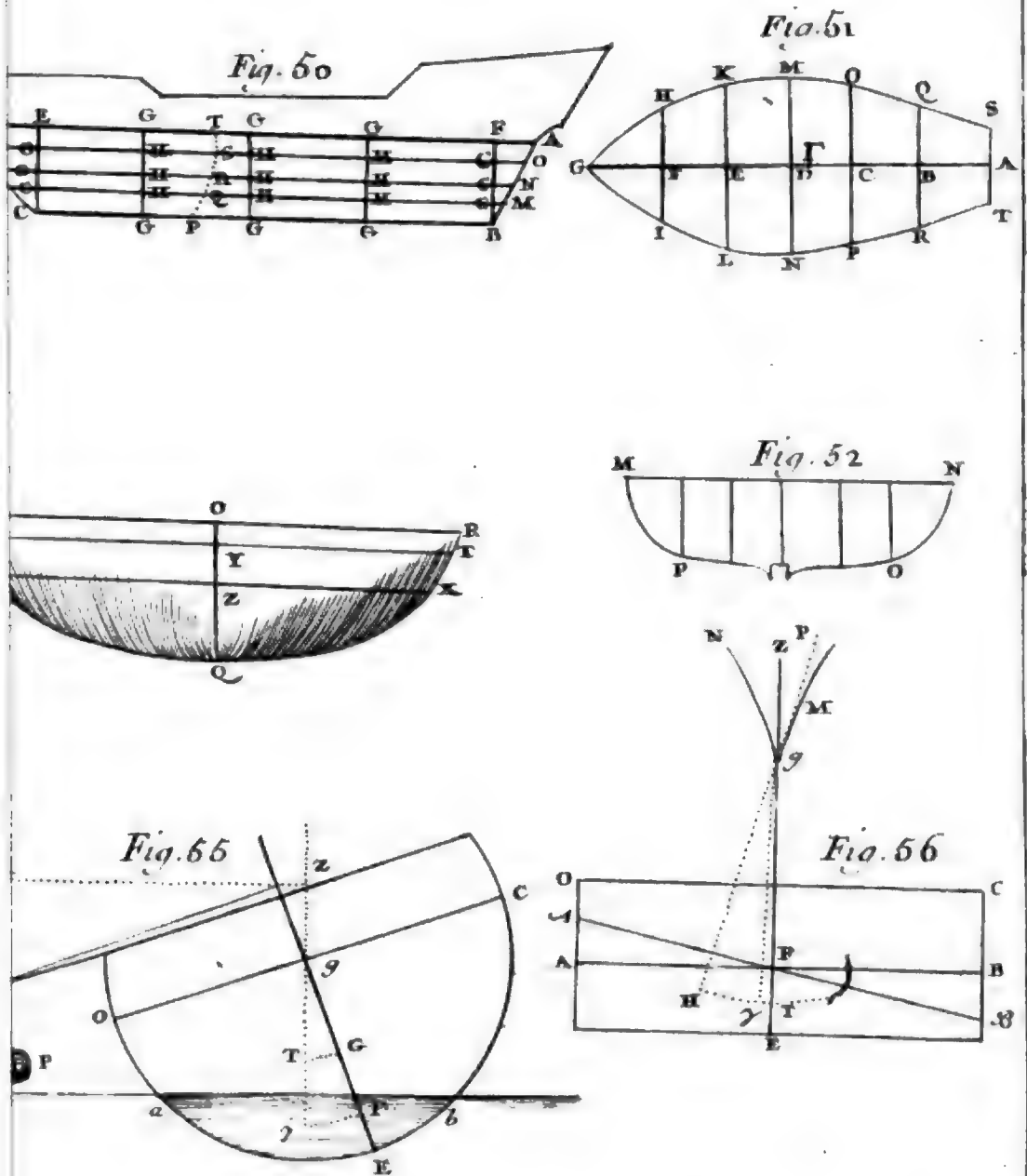
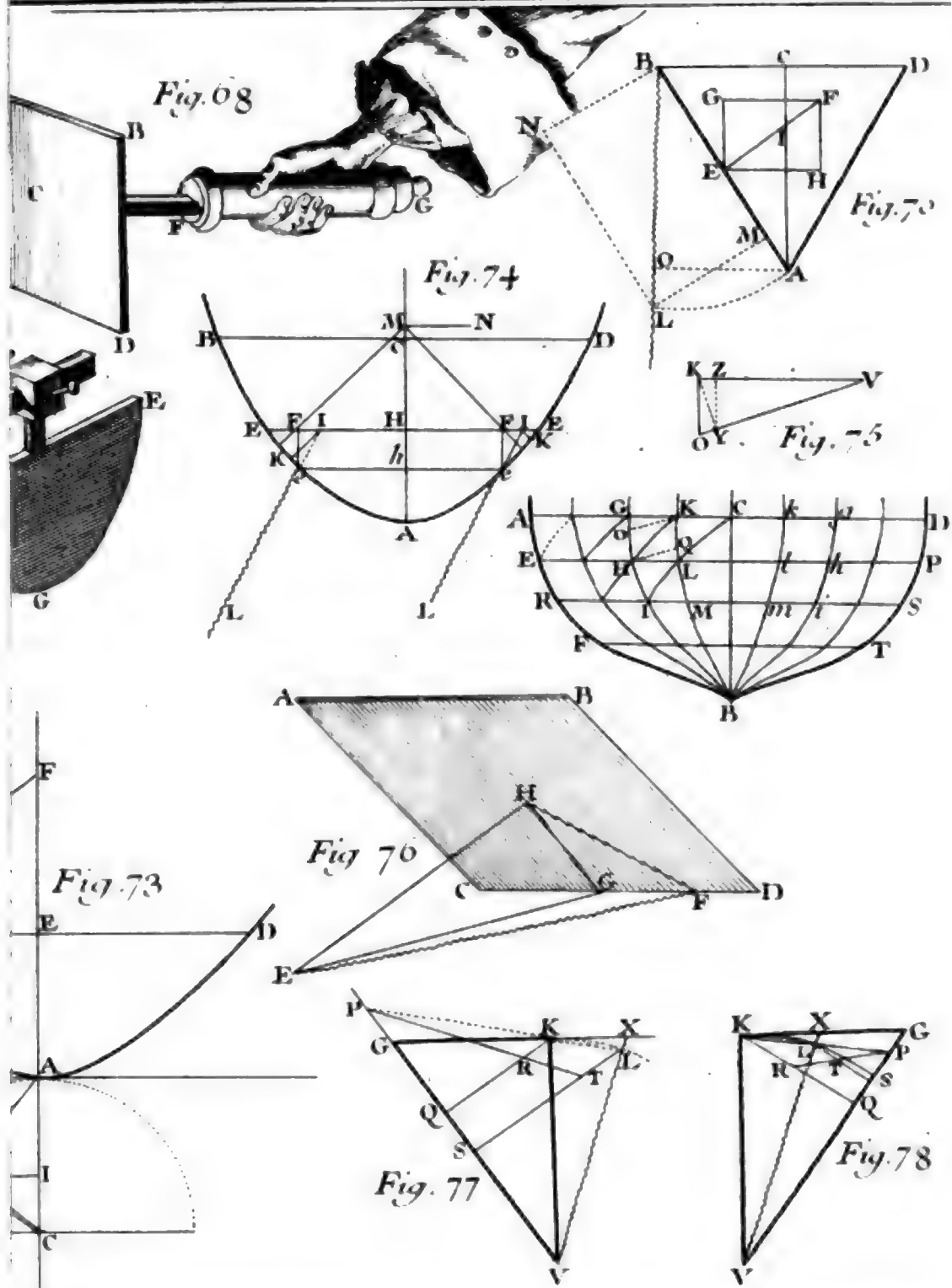
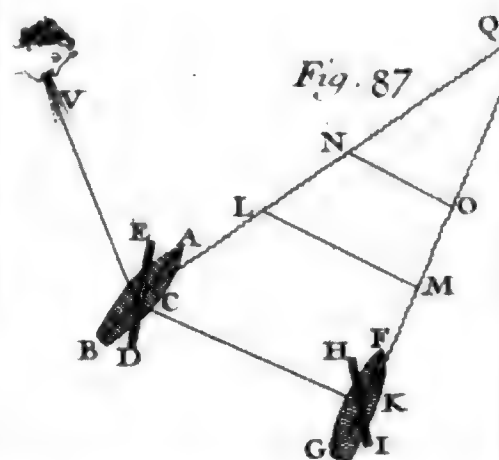
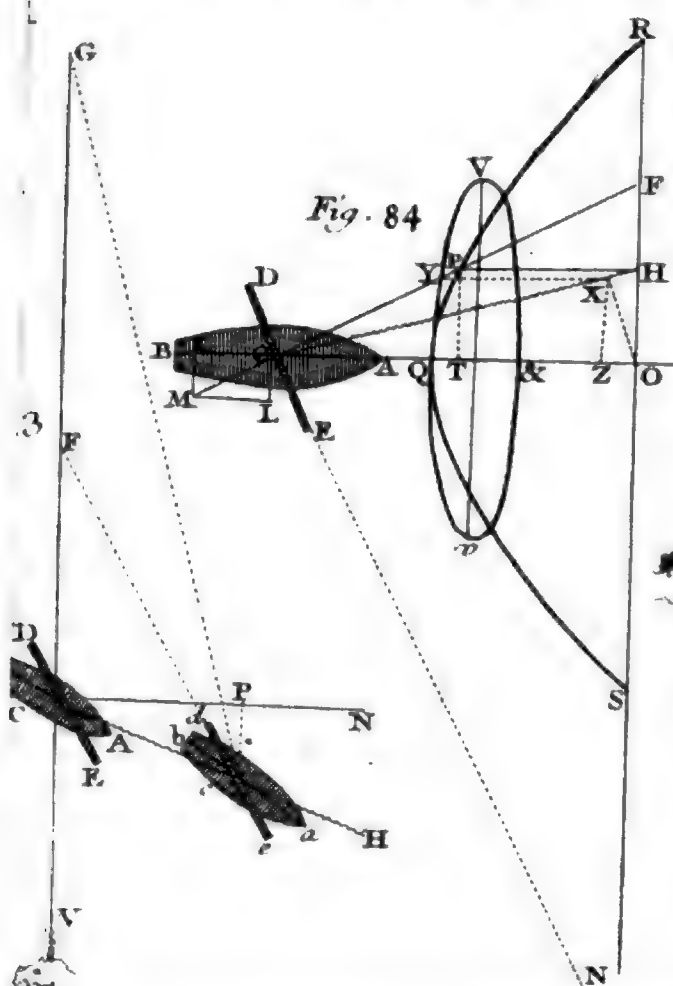
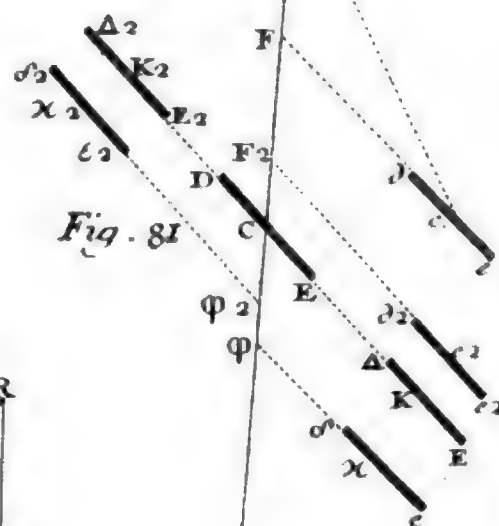
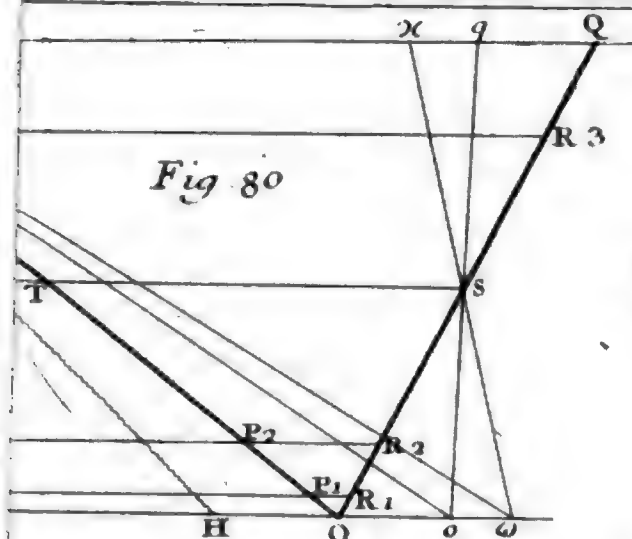


Fig. 45







1888

Fig. 90.

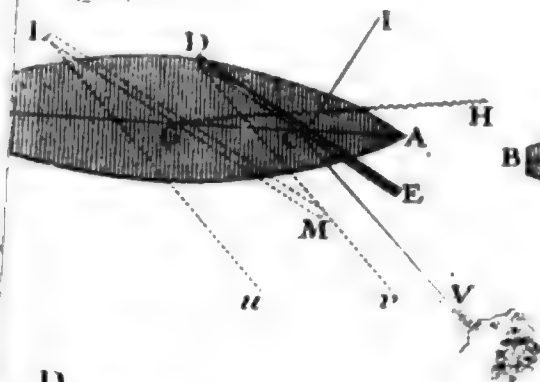


Fig. 91.

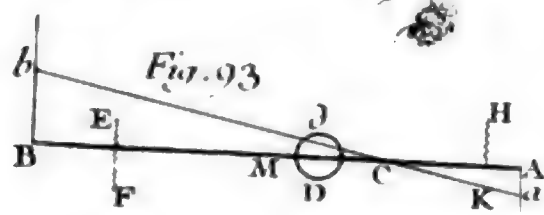
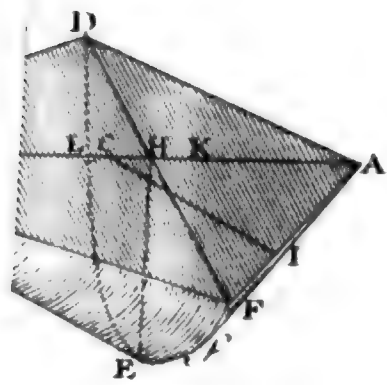
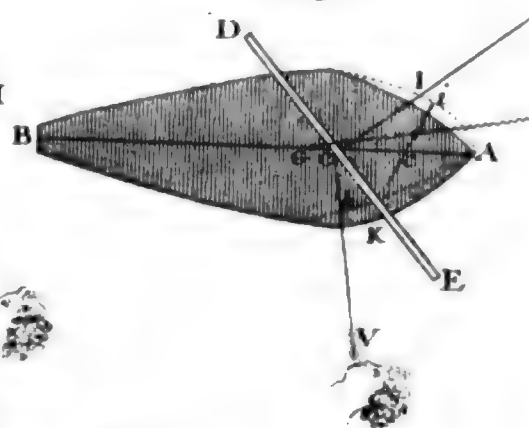


Fig. 94.

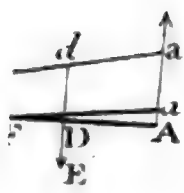
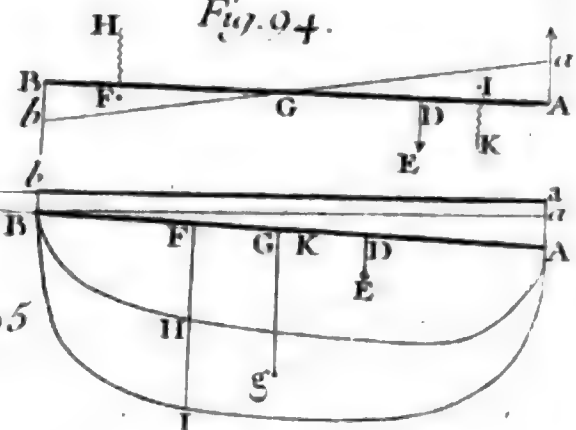
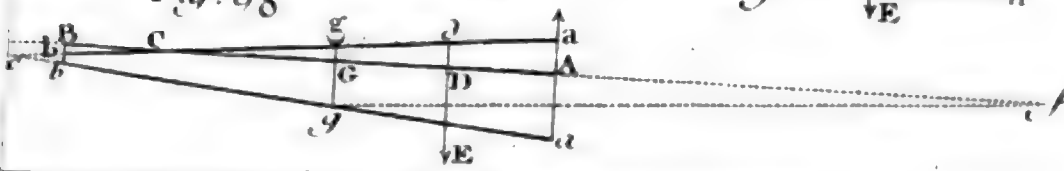


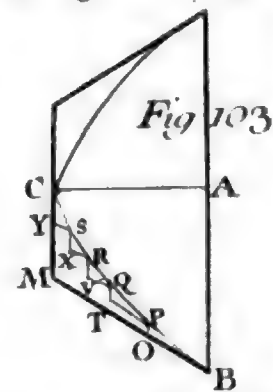
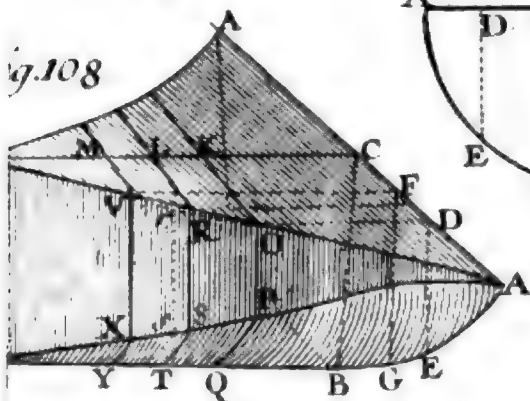
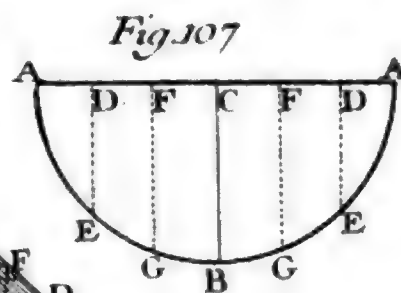
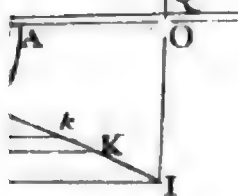
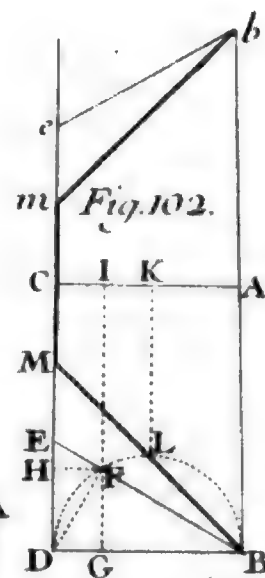
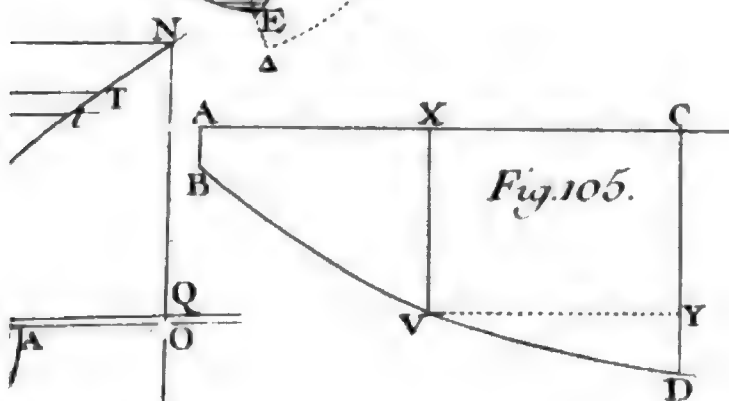
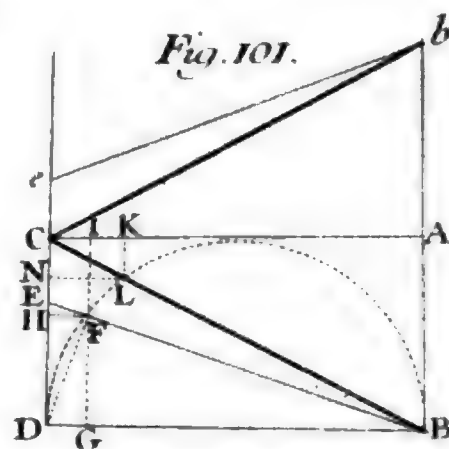
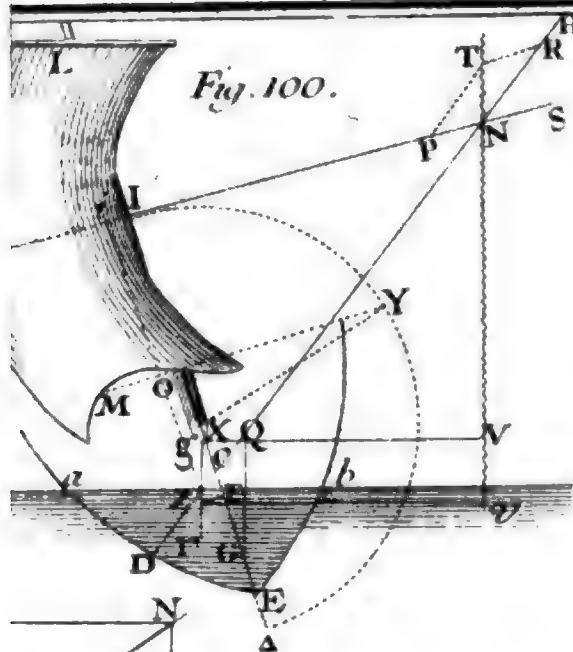
Fig. 95.

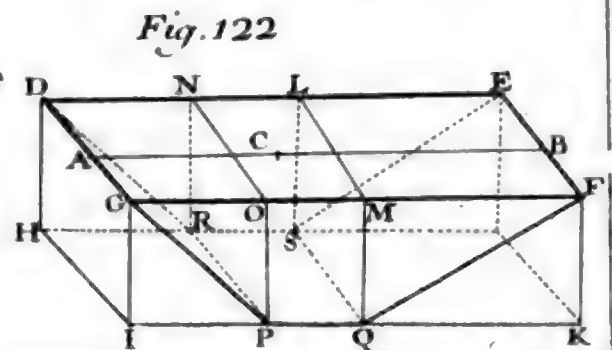
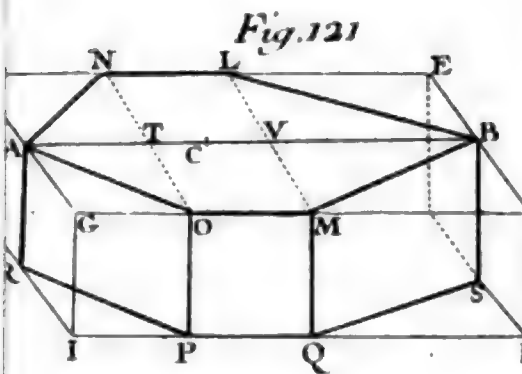
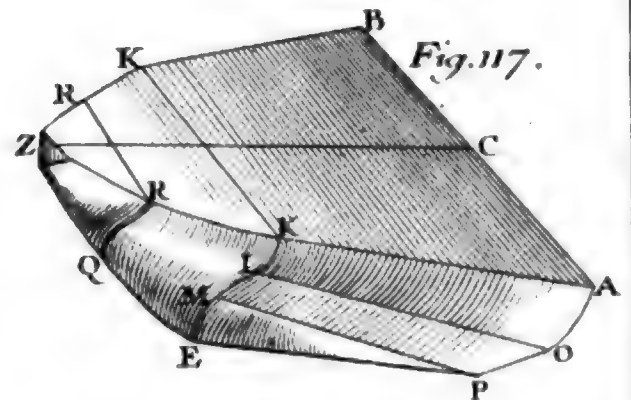
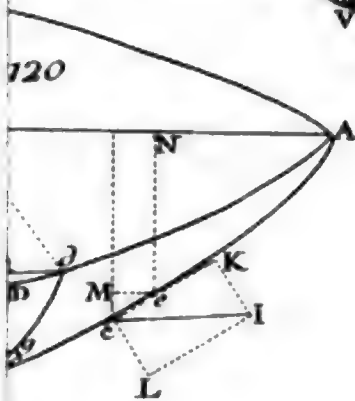
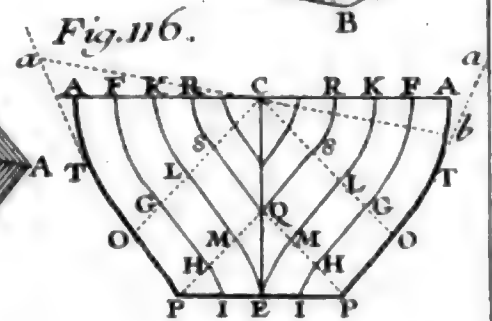
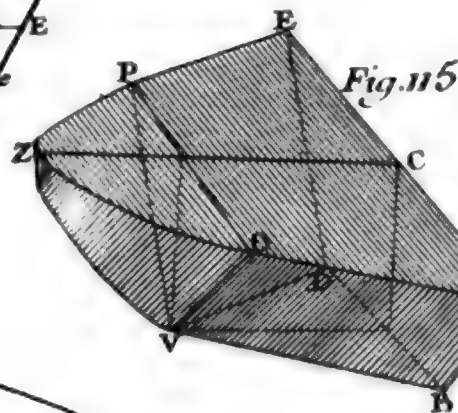
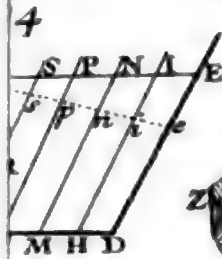
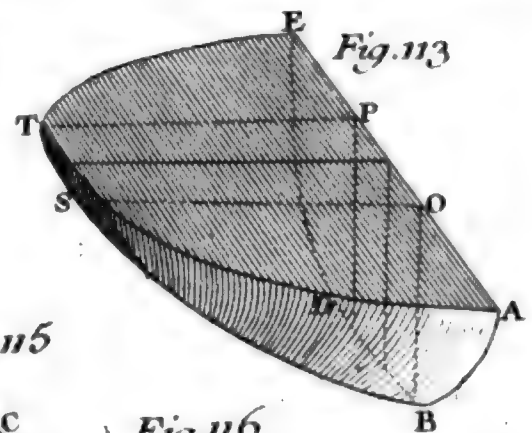
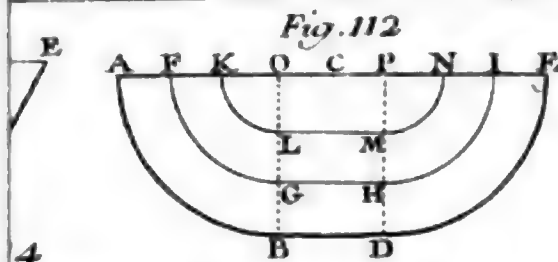
Fig. 97.



Fig. 98.











Österreichische Nationalbibliothek



+Z156751001



MENTEM ALIT ET EXCOLIT

*Restaurierung
ermöglicht durch*

Frau Dr. Herlinde Duller

K. K. HOFBIBLIOTHEK
ÖSTERREICHISCHE
NATIONALBIBLIOTHEK

